

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)



**Reflective X-ray microscope e.g. for microlithography, includes additional subsystem arranged after first subsystem along beam path and containing third mirror**

**Patent number:** DE10220815  
**Publication date:** 2003-11-20  
**Inventor:** HARNISCH WOLFGANG (DE); MANN HANS-JUERGEN (DE); REINECKE WOLFGANG (DE); ZIBOLD AXEL (DE); DINGER UDO (DE); ENGEL THOMAS (DE); ULRICH WILHELM (DE)  
**Applicant:** CARL ZEISS MICROELECTRONIC SYS (DE)  
**Classification:**  
**International:** G21K7/00  
**European:**  
**Application number:** DE20021020815 20020510  
**Priority number(s):** DE20021020815 20020510

**Abstract of DE10220815**

A reflective X-ray microscope for examining an object in a object plane, when the object is illuminated by radiation at a wavelength of less than 100 nm, especially less than 30 nm. The microscope comprises a second subsystem arranged after the first subsystem in the beam path, and which has at least one third mirror (S3). Independent claims are also included for: (1) an inspection system for examining objects, especially masks for microlithography; (2) a method for inspection of objects, especially masks for microlithography; and (3) application of an inspection system.

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



⑮ **BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND**



**DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT**

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 102 20 815 A 1**

⑤ Int. Cl.<sup>7</sup>:  
**G 21 K 7/00**

⑲ Aktenzeichen: 102 20 815.8  
⑳ Anmeldetag: 10. 5. 2002  
㉑ Offenlegungstag: 20. 11. 2003

**DE 102 20 815 A 1**

⑦① Anmelder:  
Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH, 07745  
Jena, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Dr. Weitzel & Partner, 89522 Heidenheim

⑦② Erfinder:  
Mann, Hans-Jürgen, 73447 Oberkochen, DE;  
Dinger, Udo, Dr., 73447 Oberkochen, DE; Ulrich,  
Wilhelm, 73434 Aalen, DE; Reinecke, Wolfgang, Dr.,  
15738 Zeuthen, DE; Engel, Thomas, Dr., 99102  
Niedernissa, DE; Zibold, Axel, Dr., 07749 Jena, DE;  
Harnisch, Wolfgang, 07778 Lehesten, DE

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

- ⑤④ Reflektives Röntgenmikroskop und Inspektionssystem zur Untersuchung von Objekten mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm
- ⑤⑦ Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge  $< 100$  nm, insbesondere  $< 30$  nm, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird, mit einem im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordneten ersten Subsystem, umfassend einen ersten Spiegel und einen zweiten Spiegel.  
Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nachgeordnetes zweites Subsystem umfasst, das wenigstens einen dritten Spiegel aufweist.

**DE 102 20 815 A 1**

## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlengang einer Wellenlänge  $< 100$  nm, insbesondere  $< 30$  nm beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird. Ein derartiges reflektives Röntgenmikroskop umfasst ein im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene angeordnetes erstes Subsystem mit einem ersten Spiegel und einem zweiten Spiegel.

[0002] Röntgenstrahlmikroskope sind aus nachfolgenden Anmeldungen bekannt geworden:

US 5,222,113

US 5,311,565

US 5,177,774

US 5,144,497

US 5,291,339

US 5,131,023

EP 0 459 833

[0003] Ein Schwarzschild-System mit nachgeordnetem Beugungsgitter ist aus der

US 5,022,064

bekannt geworden und ein Inspektionssystem mit reflektivem Röntgenstrahlmikroskop aus der JP 2001116900.

[0004] Die Anmeldungen US 5,222,113, US 5,311,565, US 5,177,774, EP 0 459 833 zeigen Röntgenstrahlmikroskope, bei denen in der Projektionsoptik Zonenplatten für die Abbildung vorgesehen sind. Bei Fresnelschen Zonenplatten handelt es sich um ein wellenoptisch abbildendes Bauelement, bei dem das Licht an einem System aus konzentrisch angeordneten Kreisingen gebeugt wird. Der Nachteil der Verwendung von Fresnelschen Zonenplatten in abbildenden Systemen mit mehreren optischen Elementen im Bereich der Röntgenstrahlung ist darin zusehen, dass Fresnelsche Zonenplatten transmittive Bauteile sind, die aufgrund der schlechten Transmission im Röntgenbereich zu großen Lichtverlusten führen.

[0005] Aus den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339, US 5,131,023 sind Röntgenstrahlmikroskope umfassend Schwarzschild-Systeme als abbildende Systeme bekannt geworden.

[0006] Bei sämtlichen in den US-Patenten US 5,144,497, US 5,291,339 und US 5,131,023 beschriebenen Röntgenstrahlmikroskopen ist der Strahlengang am zu untersuchenden Objekt telezentrisch ausgelegt, was eine Abbildung von Objekten in Reflektion erschwert.

[0007] Ein weiterer Nachteil derartiger Systeme für einen Einsatz zur Untersuchung von Objekten, insbesondere solchen, die im Bereich der Röntgenlithographie Verwendung finden, ist deren große Baulänge zur Erzielung eines ausreichenden Abbildungsmaßstabes. Dies erschwert die Verwendung beispielsweise in Inspektionssystemen zur Untersuchung von Masken in EUV-Projektionsbelichtungsanlagen.

[0008] Aus der US 5,022,064 ist ein Schwarzschild-System bekanntgeworden, bei dem nach dem Schwarzschild-System ein Beugungsgitter angeordnet ist, um Röntgenstrahlung unterschiedlicher Wellenlänge in unterschiedlichen Ordnungen zu beugen und so das Licht spektral aufzuspalten. Auch dieses System ist telezentrisch am Objekt.

[0009] Ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop zur Untersuchung eines Objektes für die Mikrolithographie in einer Objektebene mit Strahlung einer Wellenlänge  $< 100$  nm, insbesondere  $< 30$  nm, ist aus der JP 2001116900 bekanntgeworden. Das in dieser Anmeldung offenbarte Röntgenstrahlmikroskop ist ein Schwarzschild-System mit einem

konkaven ersten Spiegel und einem konvexen zweiten Spiegel. Im Gegensatz zu den zuvor beschriebenen Systemen ist der Strahlengang zur Untersuchung des Objektes am Objekt nicht telezentrisch, so dass eine Untersuchung in Reflektion, beispielsweise von EUV-Reflektionsmasken, ermöglicht wird.

[0010] Nachteilig an dem in der JP 2001116900 offenbarten System ist, dass es eine sehr große Baulänge aufweist, wenn große Abbildungsmaßstäbe gefordert werden.

[0011] Aufgabe der Erfindung ist es, die Nachteile des Standes der Technik zu vermeiden, insbesondere die der JP 2001116900, und ein reflektives Röntgenstrahlmikroskop anzugeben, das die Untersuchung von Objekten für die Mikrolithographie ermöglicht und eine kurze Baulänge aufweist. Bevorzugt soll die Baulänge des Röntgenstrahlmikroskops weniger als 5 m, insbesondere bevorzugt weniger als 3 m bei einer Vergrößerung von  $10-10000\times$ , bevorzugt  $300-1000\times$  betragen.

[0012] In einem weiteren Aspekt der Erfindung soll ein Inspektionssystem angegeben werden, das insbesondere die Untersuchung von Masken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen  $< 100$  nm, bevorzugt im Wellenlängenbereich  $10-30$  nm, ermöglicht.

[0013] Inspektionssysteme, insbesondere für die Untersuchung von Transmissionsmasken für photolithographische Prozesse mit Wellenlängen im UV-Bereich, sind aus

EP-A-0628806

JP-A-4-321047

bekannt geworden. Der Inhalt dieser Schriften wird vollumfänglich in den Offenbarungsgehalt dieser Anmeldung mit aufgenommen. In diesen Systemen ist allerdings nur die Untersuchung von Transmissionsmasken beschrieben; eine Untersuchung von Reflektionsmasken, wie in der EUV-Lithographie verwendet, ist nicht erwähnt.

[0014] Erfindungsgemäß wird in einem ersten Aspekt die Aufgabe dadurch gelöst, dass dem ersten Subsystem, umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel, der bevorzugt in Form eines Schwarzschild-Systems ausgebildet ist, ein zweites Subsystem im Lichtweg nachgeordnet ist, das wenigstens einen dritten Spiegel umfasst. Dieser dritte Spiegel ermöglicht es, den Strahlengang vom Objekt zum Bild zu falten und so die Baulänge gegenüber dem aus der JP 2001116900 bekannten System erheblich zu reduzieren.

[0015] Systeme mit mehr als zwei Spiegeln sind im Bereich der EUV-Lithographie für Projektionsobjektive bekannt geworden.

[0016] Derartige Systeme zeigen beispielsweise die US 5,063,586, US 5,153,898, US 4,798,450 oder die EP 0962830.

[0017] Da es sich bei all diesen Systemen um Reduktionsobjektive handelt, kann keine dieser Schriften einen Anhalt dafür geben, wie ein System ausgelegt werden muß, mit dem das Objekt vergrößernd in eine Bildebene abgebildet wird.

[0018] Insbesondere stellt sich bei diesen Objektiven nicht das Problem, eine möglichst kurze Baulänge zu erreichen; vielmehr stehen die Abbildungseigenschaften im Vordergrund.

[0019] Der wenigstens eine dritte Spiegel des zweiten Subsystems dient, wie zuvor ausgeführt, zur Faltung des Strahlengangs sowie zur Einstellung eines nahezu telezentrischen Strahlengangs am Bild.

[0020] Besonders bevorzugt ist es, wenn das zweite Subsystem insgesamt zwei Spiegel umfasst, die für eine Verringerung der Baulänge sorgen. Insbesondere ist es bei einer derartigen Anordnung möglich, die im Bereich des zweiten Spiegels des ersten Subsystems und der Bildebene auftretenden Bauraumkonflikte zu lösen, da Objektebene und

Bildebene bei einem Vierspiegel-System räumlich sehr weit voneinander getrennt sind und zudem außerhalb und auf gegenüberliegenden Seiten des Objektives liegen.

[0021] Vorteilhafterweise ist der Strahlengang am Bild nahezu telezentrisch.

[0022] Bevorzugt sind der erste und der zweite Spiegel des ersten Subsystems asphärisch geformt, der dritte und der vierte Spiegel können sowohl jeweils asphärisch als auch sphärisch geformt sein. Sphärische Spiegel werden hierfür bevorzugt, da sie fertigungstechnisch einfacher herzustellen sind.

[0023] Um eine ausreichende Vergrößerung des zu untersuchenden Objektes in der Bildebene zu gewährleisten, weist das Gesamtsystem einen Abbildungsmaßstab von  $\beta \geq 10 \times$ , bevorzugt im Bereich  $300 \times \leq \beta \leq 1000 \times$  auf.

[0024] Das reflektive Röntgenstrahlmikroskop kann entweder im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene ohne oder mit einem reellen Zwischenbild ausgebildet werden. Ausgestaltungen mit Zwischenbild haben den Vorteil, dass erstes und zweites Subsystem gegeneinander verfahren werden können und so Bilder oberhalb und unterhalb der Zwischenbildfokusebene aufgenommen werden können, die z. B. bei Maskeninspektionen Informationen über Maskendefekte liefern, wie nachfolgend beschrieben.

[0025] Bevorzugt weist das erfindungsgemäße reflektive Röntgenmikroskop eine optische Achse auf, zu der die Spiegel des Mikroskopes zentriert angeordnet sind.

[0026] Im Gegensatz zu den aus den US-Patenten bekannten Röntgenstrahlmikroskopen ist das Objekt bzw. der Beobachtungsbereich auf dem Objekt in der Objektebene bei dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop bevorzugt außerhalb der optischen Achse angeordnet. Dies ermöglicht die Untersuchung von Objekten in Reflektion, beispielsweise reflektierenden EUV-Masken, ohne dass Objekt- und Bildebene zueinander verkippt angeordnet sind, d. h., sowohl die Objektebene wie die Bildebene stehen senkrecht auf der optischen Achse des reflektiven Röntgenobjektives unter der Randbedingung eines bildseitig nahezu telezentrischen Strahlengangs. Hierdurch können Bildfehler minimiert werden, da durch diese Maßnahme ein einheitlicher Abbildungsmaßstab für alle Feldpunkte in alle Richtungen erreicht wird.

[0027] Besonders vorteilhaft ist es, wenn zur Einstellung der numerischen Apertur das reflektive Röntgenmikroskop eine Aperturblende umfasst. Um verschiedene numerische Aperturen einstellen zu können, ist es von Vorteil, wenn die Aperturblende zugänglich ist. Eine vorteilhafte Anordnung der Aperturblende ist daher eine Anordnung im Strahlengang von der Objekt- zur Bildebene im ersten Subsystem hinter der Objektebene und vor dem Spiegel. Die Aperturblende ist dezentriert zur optischen Achse angeordnet. Die Blende ermöglicht bevorzugt die Einstellung verschiedener Aperturstufen, mit der unterschiedliche numerische Aperturen der Projektionsbelichtungsanlage simuliert werden können.

[0028] In einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Inspektionssystem zur Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie, mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm zur Verfügung gestellt. Das Inspektionssystem umfasst ein Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Objektfeldes in einer Objektebene. Als Lichtquelle umfasst das Beleuchtungssystem bspw. eine Laser-Plasma-Quelle, eine Entladungsquelle oder Synchrotronquelle. Die gewünschte Strahlung von beispielsweise 13,5 nm kann mit Gitterspektralfiltern ausgefiltert werden. In der Objektebene ist innerhalb des ausgeleuchteten Feldes wenigstens ein Teil der zu untersuchende Maske angeordnet. Des weiteren umfasst das Inspektionssystem ein Abbildungssystem für Wel-

lenlängen  $\leq 100$  nm zur Abbildung wenigstens eines Teils der zu untersuchenden Maske in eine Bildebene. In der Bildebene ist ein Beobachtungssystem zur Beobachtung des in diese Ebene vergrößert abgebildeten Objektes vorgesehen.

[0029] In dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem ist das Abbildungssystem bevorzugt ein erfindungsgemäßes reflektives Röntgenmikroskop.

[0030] Das erfindungsgemäße Inspektionssystem umfasst vorzugsweise Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene. Dadurch ist es möglich, ganz gezielt das zu untersuchenden Objektes in der Objektebene zu verfahren und so Bilder von unterschiedlichen Teilen des Objektes in der Bildebene aufzunehmen.

[0031] In einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Abbildungssystem eine zugängliche, einstellbare Aperturblende. Die einstellbare Aperturblende ermöglicht es, die Apertur so einzustellen, dass die Abbildungsverhältnisse am Objekt äquivalent sind zu den Abbildungsverhältnissen in einer Projektionsbelichtungsanlage. Projektionsbelichtungsanlagen sind beispielsweise aus der WO 02/27401, der WO 02/27402 oder der US 6,244,717 bekannt geworden.

[0032] Der Offenbarungsgehalt sämtlicher vorgenannter Schriften wird vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung miteingeschlossen. Die möglichen Obskurationen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage können durch eine Obskurationsblende, die beispielsweise im Beleuchtungssystem des Inspektionssystems angeordnet ist, simuliert werden.

[0033] Weist die Projektionsbelichtungsanlage beispielsweise ein Projektionsobjektiv mit einer bildseitigen NA von 0,3 und mit einer Vergrößerung von  $4\times$  auf, so beträgt die an der einstellbaren Aperturblende vorzuwählende Apertur  $0,3 : 4$ , d. h. 0,075, um eine der Abbildung in dem Projektionssystem entsprechende Abbildung im Inspektionssystem zu erhalten.

[0034] Die einstellbare Aperturblende kann frei in einem Bereich  $0,001 \leq NA \leq 0,25$  eingestellt werden.

[0035] Neben der einstellbaren Aperturblende im Abbildungssystem kann in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen sein, dass auch das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende umfasst.

[0036] Mit Hilfe der Beleuchtungsaperturblende im Beleuchtungssystem, die in einer Ebene, die konjugiert zu der Ebene der Aperturblende der Abbildungsoptik ist, kann die Größe der Pupillenfüllung  $\sigma$  vorgegeben werden. Die Pupillenfüllung ist definiert als:

$$\sigma = \sin \alpha / \sin \beta,$$

wobei  $\sin \alpha$  der numerischen Apertur  $NA_{\text{Beleuchtung}}$  des Beleuchtungssystems am Objekt und  $\sin \beta$  der numerischen Apertur  $NA_{\text{Abbildung}}$  des Abbildungssystems am Objekt entspricht. Die Einstellung von  $\sigma$  erlaubt es, verschiedene Arten von Beleuchtungssystemen für Projektionsbelichtungsanlagen zu simulieren. Während Aperturblende und Beleuchtungsaperturblende wie oben beschrieben die Einstellung einer kreisförmigen Ausleuchtung mit einem vorbestimmten Pupillenfüllungsgrad  $\sigma$  bei Verwendung kreisförmiger Blenden ermöglichen, ist es durch das Einbringen eines Blendenwechslers, beispielsweise eines Blendenrades, in die Beleuchtungsaperturblendenebene möglich, auch eine annuläre, quadrupolare oder eine dipolare Beleuchtung zu simulieren. Zur Begrenzung des Feldes kann in einer zur Objektebene konjugierten Ebene eine Feldblende vorgesehen sein.

[0037] Bevorzugt weist das Bildaufnahmesystem des Inspektionssystems eine Analyseeinheit auf, mit der die Bilder des Objektes in der Bildebene ausgewertet werden können.

[0038] Um neben einer Simulation der Eigenschaften der

Projektionsbelichtungsanlage, die in einer speziellen Ausgestaltung auch als Stepper ausgelegt ist, eine qualitative und quantitative Inspektion der Masken zu ermöglichen, umfasst das Inspektionssystem bevorzugt Fokuseinstelleinrichtungen, mit denen das Objekt in senkrechter Richtung zur Objektebene verfahren werden kann. Dies ermöglicht die Aufnahme von Bildern ein und derselben Stelle auf dem Objekt an vorbestimmten Fokuspositionen. Bevorzugt wird der Fokus von unten nach oben in vorbestimmten Schritten symmetrisch durchfahren. Die an verschiedenen Fokuspositionen aufgenommenen Bilder können mit Hilfe der Analyseeinheit ausgewertet und so mindestens eine Aussage über die Qualität der Maske getroffen werden. Hat die Maske an der untersuchten Stelle Defekte, so ermöglicht es die Analyseeinheit, diese genau zu analysieren. Gegebenenfalls kann die Maske repariert und anschließend neu analysiert werden.

[0039] Bevorzugt umfasst die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung, in der die aufgenommenen Bilddaten digital verarbeitet werden können. Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung umfasst ein parallel zum ersten Abbildungssystem angeordnetes zweites Abbildungssystem für Wellenlängen  $> 100$  nm. Dieses zweite Abbildungssystem ermöglicht es, beispielsweise mit UV- oder VUV-Licht bspw. der I-Linie die Maske im Gesamten zunächst grob zu inspizieren. Bevorzugt ist ein derartiges Hilfsbeobachtungssystem parfokal und/oder parzentriert angeordnet. Die gesamte Maske kann beispielsweise eine Abmessung von  $6'' \times 6''$  ( $152 \times 152$  mm) aufweisen und das Objektfeld  $\leq 2 \times 2$  mm, so dass eine grobe Inspektion der gesamten Maske möglich ist. Die Maske kann dann mit Hilfe der Positioniereinrichtung an Stellen verbracht werden, an denen Defekte auftreten. Mit Hilfe der Abbildungsoptik für Wellenlängen  $100$  nm ist es möglich, diese ausgewählten Stellen zu untersuchen. Das Objektfeld, mit dem das Abbildungssystem für Wellenlängen  $100$  nm untersucht werden kann, liegt im Bereich  $100 \times 100 \mu\text{m}$ , besonders bevorzugt  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ .

[0040] Bevorzugt ist zumindest der abbildende Teil für Wellenlängen  $\leq 100$  nm des Inspektionssystems in Vakuum angeordnet.

[0041] Neben dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem wird auch ein Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm, zur Verfügung gestellt, bei dem in der Objektebene mit einem Beleuchtungssystem ein Objektfeld ausgeleuchtet wird, das zu untersuchende Objekt mit Positioniereinrichtung in das ausgeleuchtete Objektfeld verbracht wird und in eine Bildebene, in der ein Bildaufnahme-system angeordnet ist, mittels eines Abbildungssystems für Wellenlängen  $\leq 100$  nm abgebildet wird. Zur Charakterisierung der Masken wird in einem bevorzugten Verfahren das zu untersuchende Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen oberhalb und unterhalb des Fokus aufgenommen und ausgewertet. Bei Systemen mit Zwischenbild kann alternativ oder zusätzlich das zweite Subsystem relativ zum Fokus des Zwischenbildes verfahren werden, um Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen aufzunehmen. Alternativ könnte auch die gesamte Abbildungsvorrichtung oder nur das erste Subsystem in Richtung der Achse, die Senkrecht auf der Objektebene steht, verfahren werden.

[0042] Die Verwendung des erfindungsgemäßen Inspektionssystems ist vielfältig. So ist ein derartiges Inspektionssystem, wie zuvor eingehend beschrieben, zur Defektanalyse von Maskenrohlingen, beschichteten Maskenrohlingen, Masken im Fertigungsprozess für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm geeignet, wie auch für die Inspek-

tion reparierter Masken. Des weiteren kann mit einem derartigen Inspektionssystem der Belichtungsprozeß in einer Projektionsbelichtungsanlage durch Einstellung der Apertur und des Pupillenfüllgrades simuliert und damit die Projektionsbelichtungsanlage konfiguriert und optimiert werden. Das Inspektionssystem ist auch zur Inspektion von Wafern geeignet.

[0043] Die Erfindung soll nachfolgend anhand der Figuren beschrieben werden.

10 [0044] Es zeigen:

[0045] Fig. 1 die Gesamtansicht eines erfindungsgemäßen ersten Röntgenmikroskopobjektives mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten und einen zweiten Spiegel und einem zweiten Subsystem, umfassend einen dritten Spiegel

[0046] Fig. 2 ein zweites Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und einen vierten Spiegel.

20 [0047] Fig. 3 ein drittes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit einem ersten und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte Spiegel sphärisch ausgestaltet ist und die Blende zwischen Objektebene und erstem Spiegel liegt.

25 [0048] Fig. 4 ein viertes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgestaltet sind und die Objektfeldgröße  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  ist.

30 [0049] Fig. 5 ein fünftes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem mit drittem und viertem Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgestaltet sind und das Objektfeld eine Ausdehnung von  $200 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  aufweist.

[0050] Fig. 6 ein sechstes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der dritte und vierte Spiegel sphärisch ausgebildet ist und alle Spiegel Konkavspiegel sind.

40 [0051] Fig. 7 ein siebtes Röntgenmikroskop, umfassend ein erstes Subsystem mit erstem und zweitem Spiegel sowie ein zweites Subsystem, umfassend einen dritten und vierten Spiegel, wobei der erste Spiegel ein Konkavspiegel, der zweite Spiegel ein Konkavspiegel, der dritte Spiegel ein Konkavspiegel und der vierte Spiegel ein Konkavspiegel ist.

45 [0052] Fig. 8 ein Zweispiegelsystem, wobei der erste Spiegel ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel ein Konkavspiegel ist.

50 [0053] Fig. 9 ein Inspektionssystem für EUV-Masken mit einem erfindungsgemäßen Röntgenmikroskop in schematischer Darstellung

55 [0054] Fig. 10 ein Inspektionssystem, wobei die einzelnen Komponenten des Inspektionssystems näher gezeigt sind

[0055] Fig. 11 Flussdiagramm für die Durchführung einer Messung

[0056] Fig. 12 mögliche Bearbeitungen der aufgenommenen Bilder

60 [0057] Fig. 13a-c mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems

[0058] In Fig. 1 ist eine erste Ausführungsform der Erfindung gezeigt mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2. Der erste Spiegel S1 ist in vorliegendem Ausführungsbeispiel ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel S2 ein Konkavspiegel. Die Spiegel S1 und S2 sind zentriert zur optischen



Achse HA angeordnet. Das zweite Subsystem umfasst einen dritten Spiegel S3. Auch der dritte Spiegel ist zentriert zur optischen Achse angeordnet. Das dezentriert zur optischen Achse HA angeordnete Objekt in der Objektebene 1 wird durch das vergrößernd abbildende Röntgenmikroskop gemäß der Erfindung in die Bildebene 3 abgebildet. Die Bildebene 3 liegt in der Nähe des zweiten Spiegels S2 sowie der dezentriert zur optischen Achse zwischen Objektebene und erstem Spiegel angeordneten Aperturblende B.

[0059] Sämtliche Spiegelflächen der Spiegel S1, S2 und S3 sind rotationssymmetrische, asphärische Spiegelsegmentflächen.

[0060] Der Krümmungsradius des ersten Spiegels beträgt  $|R_1| = 500$  mm, der Radius des zweiten Spiegels  $|R_2| = 3,5$  mm und der des dritten Spiegels  $|R_3| = 4000$  mm. Der zweite Spiegel hat nur einen relativ geringen Krümmungsradius. Dieser ist zur Erzeugung des geforderten großen Abbildungsmaßstabs erforderlich. Die Blende B liegt zwischen Objektebene und erstem Spiegel, in einem Abstand von 466 mm von der Objektebene entfernt und hat eine maximale dezentrierte Öffnung von 60 mm. Die Baulänge des optischen Systems, das heißt der Abstand von der Blendenebene, in der die Aperturblende B angeordnet ist, bis zum dritten Spiegel S3 beträgt 2007 mm und der Abstand von der Objektebene 1 bis zur Aperturblende B 466 mm. Das Gesamtsystem hat einen Abbildungsmaßstab von  $\beta = -500 \times$ . Objekt und Bild in der Objektebene bzw. in der Bildebene liegt bezogen auf die optische Achse HA dezentriert auf gegenüberliegenden Seiten.

[0061] Der Vorteil des vorgestellten Drei-Spiegelsystems ist darin zu sehen, da mit nur drei Spiegeln eine geringe Gesamtbaulänge von weniger als 2500 mm realisiert werden konnte, wobei die Baulänge, das heißt der Abstand der Aperturblende bis zum Scheitelpunkt des dritten Spiegels 2007 mm beträgt sowie der Abstand der Objektebene 1 von der Aperturblende B in der Aperturebene 466 mm beträgt. Die allgemeinen Objektivdaten des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 1 können Tabelle 1a, die Zusammenfassung der Flächendaten Tabelle 1b und die Details der Flächendaten Tabelle 1c im Anhang entnommen werden. Sämtliche vorangegangenen und nachfolgenden Tabellen der optischen Daten sind Daten im ZEMAX-Format. Das ZEMAX-Format ist dem Fachmann wohlbekannt.

[0062] In Fig. 2 ist ein Vierspiegel-System gezeigt mit einem ersten Subsystem, umfassend einen ersten Spiegel S1 und einen zweiten Spiegel S2 sowie einem zweiten Subsystem, umfassend einen dritten und einen vierten Spiegel. Der erste Spiegel ist mit der Bezugsziffer S1, der zweite Spiegel mit der Bezugsziffer S2, der dritte Spiegel mit der Bezugsziffer S3 und der vierte Spiegel mit der Bezugsziffer S4 belegt. Bei dem ersten Spiegel S1 handelt es sich um einen Konkavspiegel, bei dem zweiten Spiegel S2 um einen Konvexspiegel, bei dem dritten und vierten Spiegel S3, S4 jeweils um Konkavspiegel. Die Aperturblende B ist bei dem Ausführungsbeispiel mit geringem Abstand vor dem ersten Spiegel S1 angeordnet. Eine derartige Anordnung führt zwangsläufig zu einer geringen Vignittierung. Der Abbildungsmaßstab des Gesamtsystems beträgt  $\beta = 354$ , das heißt das Objekt in der Objektebene 1 und das Bild in der Bildebene 3 liegen dezentriert auf der selben Seite zur optischen Achse HA. Die allgemeinen Objektivdaten dieser Ausführungsvariante der Erfindung sind in Tabelle 2a angegeben, die zusammengefassten Flächendaten in Tabelle 2b und die speziellen Flächendaten in Tabelle 2c.

[0063] In Fig. 3 ist wiederum ein Vierspiegel-System mit einem ersten Spiegel S1, einem zweiten Spiegel S2, einem dritten Spiegel S3 sowie einem vierten Spiegel S4 gezeigt. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Figuren wer-

den mit denselben Bezugsziffern belegt.

[0064] Der grundsätzliche Aufbau des Systems gemäß Fig. 3 ist koaxial mit rotationssymmetrischen sphärischen oder asphärischen Spiegelsegmentflächen. Das Objektfeld ist dezentriert zur optischen Achse HA angeordnet. Alle Spiegel sind rotationssymmetrisch um die optische Achse HA. Der erste Spiegel ist ein Konkavspiegel mit einem Krümmungsradius  $|R_1| = 500$  mm, der zweite Spiegel ist ein Konvexspiegel mit einem Krümmungsradius  $|R_2| = 50$  mm, der dritte Spiegel ist ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius  $|R_3| = 166$  mm und der vierte Spiegel S4 ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius  $|R_4| = 4000$  mm. Aus fertigungstechnischer Sicht vorteilhaft ist, dass bei der Ausführungsform gemäß Fig. 3 der dritte Spiegel S3 sphärisch ist. Die Spiegelflächen der Spiegel S1, S2 und S4 sind hingegen Rotations-Asphären. Die Aperturblende B liegt zwischen der Objektebene 1 und dem ersten Spiegel S1 in einem Abstand von 840,5 mm von der Objektebene 1 entfernt und weist eine maximale dezentrierte Öffnung von 146 mm auf. Die Baulänge des optischen Systems, das ist der Abstand von der Blendenebene B bis zur Bildebene 3 beträgt in vorliegendem Fall 2116 mm. Der Gesamtabbildungsmaßstab des vorliegenden Systems beträgt  $\beta = 530$ , das heißt, das Objekt in der Objektebene und das Bild in der Bildebene liegen dezentriert zur optischen Achse HA auf der gleichen Seite.

[0065] Die allgemeinen optischen Daten des Systems gemäß Fig. 3 sind in Tabelle 3a, die Zusammenfassung der Flächendaten in Tabelle 3b und die speziellen Flächendaten in Tabelle 3c im Anhang angegeben.

[0066] Die Fig. 4 und 5 beschreiben wiederum 4-Spiegel-systeme mit einem ersten Subsystem, umfassend Spiegel S1, S2 sowie einem zweiten Subsystem, umfassend Spiegel S3 und S4. Gleiche Bauteile wie in den vorangegangenen Fig. 2 und 3 sind wiederum mit denselben Bezugsziffern belegt. Der grundsätzliche Aufbau der Systeme gemäß Fig. 4 und 5 ist koaxial. Besonders vorteilhaft ist, dass der dritte Spiegel S3 und der vierte Spiegel S4 sphärisch ausgebildet sind und nur der erste Spiegel S1 und der zweite Spiegel S2 rotationssymmetrische asphärische Spiegelsegmentflächen umfassen. Der erste Spiegel S1 ist ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius  $|R_1| = 500$  mm, der zweite Spiegel ein Konvexspiegel mit Krümmungsradius  $|R_2| = 100$  mm, der dritte Spiegel ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius  $|R_3| = 216$  mm und der vierte Spiegel ein Konkavspiegel mit Krümmungsradius  $|R_4| = 4000$  mm. Die Baulänge des optischen Systems, das heißt der Abstand von der Blendenebene, in der die Blende B angeordnet ist bis zur Bildebene 3 beträgt 2183 mm, der Abstand zwischen Objektebene 1 und Blendenebene 466 mm.

[0067] Der Abbildungsmaßstab beträgt  $\beta = 500$ , das heißt das Objekt im Objektfeld und das Bild im Bildfeld liegen dezentriert zur optischen Achse HA auf der gleichen Seite. Das Objektfeld der in Fig. 4 gezeigten Ausführungsform weist eine Ausdehnung von  $30 \mu\text{m} \times$  bei  $30 \mu\text{m}$  auf und ist leicht dezentriert, das heißt außeraxial zur optischen Achse HA angeordnet. Die allgemeinen optischen Daten für das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 4 sind in Tabelle 4a, die Zusammenfassung der Daten der optischen Flächendaten in Tabelle 4b und die speziellen Flächendaten der optischen Fläche in Tabelle 4c im Anhang angegeben.

[0068] In Fig. 5 ist eine Variante des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 4 dargestellt. Im wesentlichen wurden alle Systemdaten beibehalten, lediglich die asphärischen Flächen der Spiegel S1 und S2 geändert. Durch diese Änderung ist es möglich, das Objektfeld auf eine Größe von  $200 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  auszudehnen, ohne dass der Wellenfrontfehler und die Verzeichnung gegenüber dem Ausführungsbeispiel in

Fig. 4 sich verschlechtert.

[0069] Da lediglich die Asphären auf dem ersten und zweiten Spiegel geändert wurden, können die allgemeinen optischen Daten gemäß Tabelle 4a und die allgemeinen Flächendaten gemäß Tabelle 4b auch für Ausführungsbeispiel 5 übernommen werden. Lediglich in den speziellen Asphären-daten der Spiegel S1 und S2 ergibt sich eine Abweichung. Die speziellen optischen Flächendaten gemäß Ausführungsbeispiel 5 sind in Tabelle 5c im Anhang wiedergegeben.

[0070] In Fig. 6 ist eine weitere Variante einer 4-Spiegel-anordnung mit einem ersten Spiegel S1, einem zweiten Spiegel S2, einem dritten Spiegel S3 und einem vierten Spiegel S4 angegeben. Gleiche Bauteile wie in den Fig. 2 bis 5 sind mit denselben Bezugsziffern belegt. Der wesentliche Unterschied des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 6 gegenüber dem Ausführungsbeispiel 3, 4 und 5 ist darin zu sehen, dass der zweite Spiegel S2 ein Konkavspiegel ist und oberhalb der optischen Achse HA benutzt wird. Die Bündel nach diesem Spiegel verlaufen demzufolge ebenfalls oberhalb der optischen Achse. Der Abbildungsmaßstab beträgt  $\beta = -500$ , das heißt das Objekt in der Objektebene und das Bild in der Bildebene befinden sich auf gegenüberliegenden Seiten der optischen Achse HA.

[0071] Die allgemeinen optischen Daten können Tabelle 6a, die allgemeinen Flächendaten Tabelle 6b und die speziellen Flächendaten der Ausführungsform gemäß Fig. 6 Tabelle 6c im Anhang entnommen werden.

[0072] Das in Fig. 7 gezeigte Ausführungsbeispiel entspricht bis auf den zweiten Spiegel S2 dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6. Der wesentliche Unterschied zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 besteht darin, dass der dritte Spiegel S3 ein Konvexspiegel ist. Der Abbildungsmaßstab des Systems gemäß Fig. 7 beträgt  $\beta = 500$ , das heißt im Gegensatz zum Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 6 befindet sich das Objekt in der Objektebene und das Bild in der Bildebene auf der gleichen Seite in Bezug auf die optische Achse HA.

[0073] Die optischen Daten des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 6 können Tabelle 7a, die allgemeinen Flächendaten Tabelle 7b und die speziellen Flächendaten Tabelle 7c im Anhang entnommen werden.

[0074] Das Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 8 zeigt, dass bei Einhaltung einer Baulänge von unter 3 m mit 2-Spiegel-anordnungen Abbildungsmaßstäbe unter sinnvollen Randbedingungen von maximal  $\beta = 100$  für das Gesamtsystem zu realisieren sind. Bei dem in Fig. 8 gezeigten System handelt es sich um ein 2-Spiegelsystem mit einem ersten Spiegel S1 und einem zweiten Spiegel S2, wobei der erste und der zweite Spiegel S1, S2 jeweils Konkavspiegel sind. Die allgemeinen optischen Daten des Ausführungsbeispiels gemäß Fig. 8 sind in Tabelle 8a, die allgemeinen Flächendaten in Tabelle 8b und die speziellen Flächendaten in Tabelle 8c im Anhang wiedergegeben.

[0075] Die objektseitige Apertur der Systeme gemäß Fig. 1 bis 8 ist über die Aperturblende B einstellbar und beträgt beispielsweise zur Simulation gebräuchlicher Projektionsbelichtungsanlagen 0,0625. Die Aperturblende ist in einem Bereich  $0,001 \leq NA \leq 0,25$  einstellbar. Die Objektfeldgröße, die in der Ebene 1 durch ein nicht dargestelltes Beleuchtungssystem beleuchtet wird, beträgt beispielsweise  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  bzw.  $100 \times 100 \mu\text{m}$ . Wird beispielsweise eine Maske, ein sogenanntes Retikel, für die Mikrolithographie untersucht, so haben derartige Masken typischerweise Abmessungen von  $152 \times 152 \text{ mm}$ . Mit dem erfindungsgemäßen reflektiven Röntgenmikroskop ist somit nur die Abbildung eines Ausschnittes der Maske möglich. Das Objekt in der Objektebene 1 wird mit Systemen gemäß Fig. 1 bis 7 300–10000-fach vergrößert in die Bildebene 3 abgebildet.

Da die Aperturblendenenebene B zugänglich ist, kann in der Blendenebene die Apertur mittels der Aperturblende B in einem Bereich  $0,001 \leq NA \leq 0,25$  eingestellt werden. NA bezeichnet hier die abbildungsseitige, nachfolgend auch als

5 Apertur  $NA_{\text{Abbildung}}$  bezeichnet, Apertur am Objekt. Der Winkel  $\alpha$  des Hauptstrahls 5 in der Objektebene 1 beträgt zur optischen Achse des Systems in der Regel  $6^\circ$ . Mit Hilfe der Röntgenmikroskopie gemäß den Fig. 1 bis 7, die mehr als zwei Spiegel umfassen, ist es möglich, ein ausreichend vergrößertes Röntgenmikroskopobjektiv zu erhalten, dessen Baulänge geringer 3000 mm ist.

[0076] In Fig. 9 ist ein erfindungsgemäßes Inspektionssystem, insbesondere zur Untersuchung beschichteter EUV-Masken mit kleinem Objektfeld dargestellt. Ein Beleuchtungssystem 100 leuchtet in einer Objektebene 101 ein Feld 102 in einer vorbestimmten Art und Weise aus. Das Beleuchtungssystem 100 kann eine nicht dargestellte Beleuchtungsaperturblende umfassen zur Einstellung des Pupillenfüllungsgrades  $\sigma$ . Der Pupillenfüllungsgrad  $\sigma$  ist definiert als

$$\sigma = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \approx \frac{NA_{\text{Beleuchtung}}}{NA_{\text{Abbildung}}},$$

25 wobei  $NA_{\text{Beleuchtung}}$  die numerische Apertur im Beleuchtungssystem, die durch die Beleuchtungsaperturblende vorgegeben wird, und  $NA_{\text{Abbildung}}$  die numerische Apertur des Abbildungssystems, die durch die Aperturblende B des Abbildungssystems, hier des reflektiven Röntgenmikroskops, vorgegeben wird, darstellt.

[0077] Um verschiedene Beleuchtungs-Settings einstellen zu können, beispielsweise eine kreisförmige, eine annuläre, eine quadrupolare oder eine bipolare Beleuchtung, kann in einer Aperturblendenenebene ein Blendenrad angeordnet sein.

35 [0078] Mit Hilfe der variabel einstellbaren Beleuchtungsaperturblende, der Aperturblende im Abbildungssystem bzw. dem Blendenrad ist es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Inspektionssystem die Einstellungen in einer EUV-Projektionsbelichtungsanlage, in der die Maske bzw. das Retikel eingesetzt wird, zu simulieren und durch Auswertung der Maskenbilder die optimalen Einstellungsparameter der Projektionsbelichtungsanlage in bezug auf Apertur, Art der Beleuchtung, etc. zu ermitteln. Damit ist das Inspektionssystem für weit mehr als nur die Untersuchung von Masken auf Defekte hin geeignet. Wird eine Maske auf Defekte hin untersucht, so sind die defekten Stellen der zu untersuchenden EUV-Maske 104 innerhalb des ausgeleuchteten beobachteten Feldes angeordnet.

50 [0079] Für die Feldmitte des Feldes 102 ist in Fig. 9 der Strahlverlauf eines Strahlbüschels gezeigt. Der Hauptstrahl 106 des von der Feldebene ausgehenden Strahlbüschels 108 ist um einen Winkel  $\alpha$  gegenüber der optischen Achse HA geneigt. Der Winkel  $\alpha$  entspricht dem Hauptstrahl einfallswinkel in Projektionsbelichtungsanlagen am Objekt, der bevorzugt  $6^\circ$  beträgt.

[0080] Mit Hilfe eines erfindungsgemäßen Röntgenmikroskopes als Abbildungssystem 110, das in Fig. 9 nicht näher dargestellt ist, aber ein Röntgenmikroskopobjektiv gemäß Fig. 1 bis 7 umfassen kann, wird das Objekt 104 in der Objektebene 101 in ein Bild in der Bildebene 112 abgebildet. Wie aus Fig. 9 hervorgeht, ist der Strahlverlauf eines von der Feldmitte ausgehenden Strahlbüschels in der Bildebene 112 nahezu telezentrisch, d. h. der Hauptstrahl 106 eines Strahlbüschels 108 trifft nahezu senkrecht auf die Bildebene 112. Möglich wäre auch die bewusste Einführung eines größeren Telezentriefehlers durch Verschieben der Aperturblenden. Das Bild 114 des Objektes 104 in der Bildebene 112 ist vergrößert. Die Vergrößerung liegt bevorzugt

im Bereich  $300 \times$  bis  $1000 \times$ . In der Bildebene 112 ist zur Beobachtung eine Beobachtungsvorrichtung angeordnet. Die Beobachtungsvorrichtung kann eine Kamera, insbesondere eine CCD-Kamera, eine Multikanalplatte oder ein Fluoreszenzschirm sein.

[0081] Die Beobachtungsvorrichtung wiederum kann mit einer ebenfalls in Fig. 9 nicht dargestellten Analyseeinheit ausgeführt sein, der das von der Beobachtungsvorrichtung aufgenommene Bild beispielsweise in digitaler Form zur Auswertung zugeführt wird. Die Analyseeinheit kann ein programmierbarer, digitaler Computer sein.

[0082] Der programmierbare digitale Computer wiederum kann Steuereinrichtungen umfassen, die die Aperturblende in der Abbildungsoptik, die Beleuchtungsaperturblende bzw. das Blendenrad sowie die Feldblenden in dem Inspektionssystem ansteuert, um die Größe und Form des ausgeleuchteten Objektfeldes in der Objektebene, die Pupillenfüllung und die numerische Apertur einzustellen. Des weiteren kann das System Einrichtungen zur Positionierung des zu untersuchenden Objektes in der Objektebene, die auch als x-y-Ebene bezeichnet wird, umfassen. Dadurch ist es möglich, unterschiedliche Ausschnitte der Maske mit einem geringen Objektfeld, beispielsweise von  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$  oder  $100 \mu\text{m} \times 100 \mu\text{m}$ , bei einer Maskengröße von z. B.  $152 \times 152 \text{ mm}^2$  zu untersuchen. Durch systematisches Abfahren der Maske in der x-y-Ebene kann bei durch die einstellbaren Blenden simulierter Projektionsbelichtungsanlage die gesamte Maske untersucht werden. Da dies jedoch sehr aufwendig ist, kann ein paralleles Hilfsbeobachtungssystem, das mit UV-Licht oder VUV-Licht arbeitet, zur Grobinspektion der Maske vorgesehen sein. Ist die gesamte Maske grob untersucht, so können die auf der Maske kritischen Bereiche mit Hilfe der x-y-Positioniereinrichtung angefahren und diese Bereiche dann mit der EUV-Optik auf Defekte hin untersucht werden. Neben der Verfahrbarkeit in der x-y-Ebene mit der Positioniereinrichtung sind in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung auch Fokuseinstellvorrichtungen vorgesehen, mit denen das Objekt senkrecht zur Objektebene verfahren und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden können. Auf diese Art und Weise ist es möglich, Bilder der Maske bei unterschiedlichen vorgegebenen Fokusebenen aufzunehmen. Die Anzahl dieser Fokusebenen hängt von der gewünschten Genauigkeit der Untersuchung ab.

[0083] Zusätzlich zu den Bilddaten bei unterschiedlichen Fokusebenen können auch Daten über die Beleuchtungsintensität in der Beleuchtungsebene für jedes einzelne Bild aufgenommen werden.

[0084] Aus den aufgenommenen Bilddaten können in Abhängigkeit von der x-, y-Position sowie der z-Position Intensitätsdatenkarten der untersuchten Maske generiert werden. Diese Intensitätsdatenkarten können mit Intensitätsdatenkarten, die aufgrund von Simulationsrechnungen erhalten wurden, oder Referenzdatenkarten, die bei der Untersuchung von Masken bzw. Objekten, die in einem Projektionsbelichtungsprozeß zu akzeptablen Ergebnissen geführt haben, verglichen werden. Auf diese Art und Weise ist eine Untersuchung der Maske auf Defekte hin und deren Reparatur sowie eine Qualifizierung der Maske möglich.

[0085] Das erfindungsgemäße Inspektionssystem ist nicht nur für die Defektanalyse und die Kontrolle von Reparaturen von Masken für die Mikrolithographie geeignet, sondern auch zur lokalen Reinigung der Masken durch Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge des Inspektionssystems oder Optimierung des Designs der Maskenstruktur und zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß und die Systemkonfiguration in Projektionsbelichtungsanlagen.

[0086] In Fig. 10 ist eine Prinzipskizze des gesamten In-

spektionssystems gezeigt. Das Licht einer EUV-Lichtquelle 100 wird von einem Kollektor 102 gesammelt und über Spiegel 104, 106 des Beleuchtungssystems auf die Objektebene 108, in der sich das zu untersuchende Objekt befindet, gelenkt. Das Strahlbüschel des Beleuchtungssystems 110 fällt nicht telezentrisch auf das Objekt in der Objektebene 108, sondern unter einem Winkel. Bevorzugt ist der Hauptstrahlwinkel des Strahlbüschels identisch dem Hauptstrahlwinkel unter dem auch die Projektionsbelichtungsanlage betrieben wird. Bevorzugt beträgt dieser Winkel  $\alpha$  relativ zur Normalen 112 in einem ersten Ausführungsbeispiel  $6^\circ$ .

[0087] Im Beleuchtungssystem 110 sind im Strahlengang vom Kollektor 102 zur Objektebene 108 eine Beleuchtungsaperturblende 120 und eine Feldblende 122 angeordnet. Das Objekt in der Objektebene 108, das unter Reflexion beleuchtet wird, wird mit einem erfindungsgemäßen Abbildungssystem in eine Bildebene 130 abgebildet, in der das Objekt beobachtet werden kann. Die Abbildung erfolgt mit einem Röntgenmikroskop gemäß einem der Fig. 1 bis 7. In der dargestellten Ausführungsform umfasst das erste Subsystem einen Spiegel 152 und einen zweiten Spiegel 154. Das zweite Subsystem 156 umfasst den dritten und vierten Spiegel 155, 157 und faltet den Strahlengang, so dass eine relativ große Vergrößerung bei geringer Baulänge erreicht wird. Die Aperturblende 154 im Abbildungssystem befindet sich im Strahlengang von der Objektebene zur Zwischenbildebene zwischen Objektebene 108 und erstem Spiegel 152 des ersten Subsystems 150.

[0088] In Fig. 11 ist ein beispielhafter Meßablauf zur Untersuchung eines Objektes mit Hilfe des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. In einem ersten Schritt 200 erfolgt eine Eingabe der Systemeinstellung, beispielsweise der Apertur  $NA_{\text{Abbildung}}$ , der Apertur  $NA_{\text{Beleuchtung}}$  sowie der Obskurations- bzw. der Feldblende. Die Blenden werden daraufhin in einem zweiten Schritt 202 eingestellt. Sodann werden die Systemeinstellungen in einem Schritt 204 anhand einer Teststruktur, beispielsweise einer Linearstruktur in x- bzw. y-Richtung überprüft. Mit Hilfe der Teststruktur wird das System in einem Schritt 206 feinjustiert. Sodann wird in einem Schritt 210 die Meßstelle im Meßfeld, das ist der zu untersuchende Bereich des Objektes, positioniert, in dem beispielsweise der x-y-Tisch an die entsprechende Stelle verfahren wird. Optional kann vor Positionieren im Meßfeld auch eine Dokumentation der Meßeinstellungen in einem Schritt 208 vorgenommen werden.

[0089] Nachdem die zu untersuchende Meßstelle positioniert wurde, wird in einem letzten Schritt 212 der Fokus eingestellt. Ist der Fokus im Schritt 212 aufgefunden, so wird entweder ein Meßbild im Schritt 214 aufgenommen oder der Fokus wie zuvor beschrieben durchfahren, d. h. Meßbilder für unterschiedliche z-Positionen aufgenommen. Nach jedem Meßbild findet in Schritt 216 eine Qualitätskontrolle desselben statt bzw. werden die unterschiedlichen Fokuspositionen zugeordneten Meßbilder in qualitativer Hinsicht beurteilt. Genügen diese den Qualitätsanforderungen, so wird, falls vorhanden, das Objekt an eine weitere Meßstelle verfahren und dort wiederum die Meßreihe wie zuvor beschrieben aufgenommen. Führt die Qualitätskontrolle zu einem negativen Ergebnis, so wird an derselben Stelle ein neues Meßbild aufgenommen bzw. eine Vielzahl von Meßbildern, die unterschiedlichen z-Positionen zugeordnet sind.

[0090] Ist keine weitere Meßposition 220 mehr vorhanden, so können entweder in Schritt 222 die Systemeinstellungen geändert oder die Messung in Schritt 224 beendet werden.

[0091] In Fig. 12 sind mögliche Auswertungen von mit Hilfe des Inspektionssystems gewonnenen Messbildern bzw. Meßinformationen, die beispielsweise mit Hilfe einer

Computereinrichtung durchgeführt werden können, dargestellt. Das ausgewählte Messbild 300, das eine Funktion des Ortes auf dem zu untersuchenden Objekt in der Objekt-ebene, d. h. in der x-y-Ebene, ist, sowie in z-Richtung, wenn verschiedene Meßbilder ober- und unterhalb der Fokusebene aufgenommen wurden, kann in einem Schritt 302 sowohl was den Ort auf der Probe, also die x-y-Position angeht, d. h. in bezug auf die Region, wie auch in bezug auf die z-Position, d. h. in bezug auf den Schnitt ausgewählt und anschließend analysiert werden. Die ausgewählten Daten können numerisch bearbeitet und bestimmte Darstellungen berechnet werden, wie in Schritt 304 angegeben. Beispielsweise können die Daten gefittet, interpoliert, korreliert, geglättet, gefiltert oder gespiegelt werden. Die Aufbereitung der Daten durch Berechnung bzw. Aufbereitung in Schritt 304, kann auch z. B. automatisiert anhand von Kennzahlen in bezug auf die Qualität in Schritt 306 charakterisiert werden.

[0092] Alternativ zur Ausgabe von Kennzahlen zur Qualität oder zusätzlich hierzu können in Schritt 310 verschiedene Darstellungen vorgenommen werden. So ist eine Bild-darstellung der Intensität in x-, y-Richtung möglich oder ein Konturplot. Dies ist mit Bezugsziffer 312 und 314 gekennzeichnet. Alternativ hierzu können die Profile für die Schnitte gezeigt werden oder die Linienbreite über der Defokussierung, d. h. der Bewegung in z-Richtung. Dies ist mit 316 und 318 gekennzeichnet. Des weiteren kann die Linienbreite über den Threshold dargestellt werden. Dies ist mit Bezugsziffer 320 gekennzeichnet. Alternative Darstellungsarten sind das Prozeßfenster, das mit Bezugsziffer 322 gekennzeichnet ist, und eine Anzeige der Simulationsdaten zu Meßdaten für die Resistentwicklung, was mit Bezugsziffer 324 gekennzeichnet ist. Auch ist ein Vergleich mehrerer Messungen möglich oder eine Darstellung des Kontrastes über die Defokussierung, d. h. der Bewegung in z-Richtung. Dies mit den Bezugsziffern 326 und 328 gekennzeichnet. Auch andere Darstellungen basierend auf der Auswertung der Messbilder gemäß Schritt 330 sind möglich. Die möglichen Darstellungsarten sind für Inspektionssysteme, die im Wellenlängenbereich  $\geq 193$  nm arbeiten im Operating Manual AIMS Fab B 41003E und/oder Software Manual AIMS Fab B40409E der, Carl Zeiss Microelectronic Systems GmbH eingehend beschrieben. Der Offenbarungsgehalt dieser Schriften wird vollumfänglich in die vorliegende Anmeldung mitaufgenommen.

[0093] In den Fig. 13a bis 13c sind mögliche Einsatzgebiete des erfindungsgemäßen Inspektionssystems gezeigt. So zeigt Fig. 13a den Einsatz des EUV-Inspektionssystems beispielsweise bei der Herstellung von Maskenblanks, d. h. Maskenrohlingen. Das gemäß Schritt 400 gefertigte Substrat, das in der Regel ein Glassubstrat ist, kann in Schritt 402 mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems in bezug auf seine Qualität kontrolliert werden. Ist diese Qualität ausreichend, so wird das Substrat im Schritt 404 mit EUV-Spiegelschichten beschichtet. Diese Spiegelschichten werden nunmehr in Schritt 406 auf Defekte hin inspiziert, und zwar die gesamte Fläche. Die Defektinspektion gemäß Schritt 406 erfolgt mit einem Inspektionsmodul, beispielsweise einem zum EUV-Abbildungssystem parallelen Abbildungssystem, das mit sichtbarem Licht arbeitet. Ergeben sich Defekte auf der Maske, so können gemäß Schritt 408 diese Defekte mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems näher untersucht werden. Hierzu wird die zuvor auf der gesamten Fläche untersuchte Maske mit einer x-y-Positionierungseinrichtung an die Defektstellen verfahren und gezielt diese Bereiche der Maske mit dem EUV-Inspektionssystem untersucht. Ist die Qualität der Maske gemäß Schritt 410 nach erfolgter EUV-Inspektion ausreichend, so kann die Maske ge-

mäß Schritt 412 ausgeliefert werden oder wird gemäß Schritt 414 verworfen.

[0094] Fig. 13b zeigt als weiteres Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems die Verwendung in der Maskenproduktion. Das eingehende beschichtete Maskensubstrat kann gemäß Fig. 13b in Schritt 450 mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems in der Eingangskontrolle untersucht werden. Ist die Maske qualitativ ausreichend, so kann diese in einem nachfolgenden Schritt 452 strukturiert werden. Die gesamte strukturierte Maske gemäß Schritt 452 kann in Schritt 454 wiederum qualitativ mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems untersucht werden. Hierzu erfolgt wie bei der Eingangskontrolle 450 zunächst eine Defektinspektion der gesamten Maskenfläche mit einem Inspektionssystem, das beispielsweise mit sichtbarem Licht arbeitet sowie eine CD-Messung, ebenfalls mit einem System, das im sichtbaren bzw. UV oder VUV-Wellenlängenbereich arbeitet. Ergeben sich bei der Defektinspektion oder bei der CD-Messung, die nicht mit EUV-Strahlung durchgeführt wird, Defekte, so kann das erfindungsgemäße EUV-Inspektionssystem dazu eingesetzt werden, die dort aufgefundenen Defekte näher zu klassifizieren. Wird aufgrund der EUV-Inspektion der Defekte die Qualität der Masken nach Defektinspektion für ausreichend befunden, so kann diese gemäß Schritt 456 ausgeliefert werden. Ist die Maske qualitativ nicht ausreichend, so kann die Maske an die entsprechende Defektstelle verfahren und in Schritt 458 daraufhin untersucht werden, ob eine Reparatur möglich ist oder nicht. Ist keine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß Schritt 460 verworfen. Ist eine Reparatur möglich, so wird diese gemäß Schritt 462 durchgeführt und erneut der EUV-Inspektion unterworfen. Ergeben sich nunmehr ausreichende Qualitätsdaten, so kann die reparierte Maske ausgeliefert werden.

[0095] Fig. 13c zeigt als Einsatzgebiet des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems die Verwendung eines derartigen Inspektionssystems in der Wafer-Fabrik. In der Wafer-Fabrik kann die Maske gemäß Schritt 500 zunächst einer Eingangskontrolle unterzogen werden. Im Laufe des Produktionsprozesses 502 altert die Maske. Die Masken können in regelmäßigen Abständen mit Hilfe des erfindungsgemäßen EUV-Inspektionssystems auf ihre Qualität nach Alterung bzw. nach Lagerung gemäß Schritt 504 untersucht werden. Hierzu wird die Maske zunächst wiederum mit Strahlung im sichtbaren oder UV oder VUV-Wellenlängenbereich vollflächig auf Defekte hin untersucht. An den Stellen, an denen Defekte auftreten, wird eine EUV-Inspektion vorgenommen. Ist die Maskenqualität noch ausreichend, so kann die Maske in der Produktion weiter verwandt werden. Ergibt die EUV-Inspektion, dass die Maske den qualitativen Anforderungen nicht mehr genügt, so kann untersucht werden, ob der Defekt reparabel ist. Dieser Schritt wird mit Schritt 506 bezeichnet. Scheidet eine Reparatur aus, so wird die Maske gemäß Schritt 508 aus dem Produktionsprozeß genommen. Ist eine Reparatur möglich, so wird die Maske gemäß Schritt 510 repariert und nach der Reparatur erneut mit Hilfe des EUV-Inspektionssystems inspiziert. Der Defekt wird nach erfolgter Reparatur klassifiziert und bei ausreichender Qualität die Maske wiederum in den Produktionsprozeß überführt und bei nicht ausreichender Qualität verworfen.

[0096] Mit der Erfindung wird somit erstmals ein Röntgenmikroskop sowie eine Inspektionsanlage für Objekte, die in der EUV-Lithographie Verwendung finden, angegeben, das sich durch eine sehr kurze Baulänge und eine kompakte Bauweise auszeichnet bei einem ausreichenden Abbildungsmaßstab.

1. Reflektives Röntgenmikroskop zur Untersuchung eines Objektes in einer Objektebene, wobei das Objekt mit Strahlung einer Wellenlänge  $< 100$  nm, insbesondere  $< 30$  nm, beleuchtet und in eine Bildebene vergrößert abgebildet wird, mit
  - 1.1 einem im Strahlengang von der Objektebene (1) zur Bildebene (3) angeordneten ersten Subsystem umfassend einen ersten Spiegel (S1) und einen zweiten Spiegel (S2),  
dadurch gekennzeichnet, dass
    - 1.2 das reflektive Röntgenmikroskop ein dem ersten Subsystem im Strahlengang nachgeordnetes zweites Subsystem umfasst, das wenigstens einen dritten Spiegel (S3) aufweist.
2. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Spiegel (S1) ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel (S2) ein Konvexspiegel ist.
3. Reflektives Röntgenmikroskop nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Spiegel (S1) ein Konkavspiegel und der zweite Spiegel (S2) ein Konkavspiegel ist.
4. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das zweite Subsystem einen dritten (S3) und einen vierten Spiegel (S4) umfasst.
5. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte (S3) und der vierte Spiegel (S4) je Konkavspiegel sind.
6. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der dritte Spiegel (S3) ein Konvexspiegel und der vierte Spiegel (S4) ein Konkavspiegel ist.
7. Reflektives Röntgenmikroskop nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenmikroskop eine Vergrößerung von  $\beta \geq 50 \times$ , bevorzugt im Bereich  $100 \times \leq \beta \leq 1000 \times$  aufweist.
8. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass im Strahlengang von der Objektebene zur Bildebene ein reelles Zwischenbild ausgebildet wird.
9. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenmikroskop eine optische Achse aufweist, wobei erster, zweiter und dritter Spiegel (S1, S2, S3) des Mikroskops zentriert zur optischen Achse (HA) angeordnet sind.
10. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Röntgenmikroskop eine optische Achse aufweist, wobei erster, zweiter, dritter und vierter Spiegel (S1, S2, S3, S4) des Mikroskops zentriert zur optischen Achse (HA) angeordnet sind.
11. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Objekt in der Objektebene (1) dezentriert zur und vorzugsweise nahe der optischen Achse (HA) angeordnet ist.
12. Reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass eine Aperturblende (B) dezentriert zur optischen Achse (HA) vorgesehen ist.
13. Reflektions-Röntgenmikroskop gemäß Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Aperturblende (B) im Strahlengang von der Objekt- (1) zur Bildebene (3) nach der Objektebene (1) und vor dem ersten Spie-

gel (S1) angeordnet ist.

14. Inspektionssystem für die Untersuchung von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $< 100$  nm, vorzugsweise  $< 30$  nm, mit

14.1 einem Beleuchtungssystem zur Ausleuchtung eines Feldes in einer Objektebene (1), wobei 14.2 in der Objektebene innerhalb des ausgeleuchteten Feldes das zu untersuchende Objekt angeordnet ist;

14.3 einem Abbildungssystem für Wellenlängen  $\leq 100$  nm zur vergrößernden Abbildung wenigstens eines Ausschnittes des Objektes in eine Bildebene (3);

14.4 einem in der Bildebene (3) angeordneten Bildaufnahmesystem.

15. Inspektionssystem gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Inspektionssystem Positioniereinrichtungen zum Positionieren des Objektes in der Objektebene umfasst.

16. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Abbildungssystem eine einstellbare Aperturblende (B) umfasst.

17. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungssystem eine einstellbare Beleuchtungsaperturblende in einer Ebene, die konjugiert zur Ebene der Aperturblende (B) im Abbildungssystem ist, umfasst.

18. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungssystem oder das Abbildungssystem eine Obskurationsblende in oder nahe der Blendenebene (B) oder einer Ebene, die konjugiert zur Blendenebene (B) ist, umfasst.

19. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass das Beleuchtungssystem eine einstellbare Feldblende umfasst;

20. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das Bildaufnahmesystem eine Analyseeinheit zur Analyse der Bilder des Objektes in der Bildebene (3) umfasst.

21. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass das Inspektionssystem Fokuseinstelleinrichtungen umfasst.

22. Inspektionssystem gemäß Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Fokuseinstelleinrichtungen Verfahrenseinrichtungen zum Verfahren des Objektes in senkrechter Richtung zur Objektebene (1) umfassen.

23. Inspektionssystem gemäß Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass das Bildaufnahmesystem Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen, in die das Objekt durch die Fokuseinstelleinrichtung verbracht wird, aufnimmt.

24. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Analyseeinheit eine Mikrocomputereinrichtung umfasst.

25. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Abbildungssystem für Wellenlängen  $100$  nm ein reflektives Röntgenmikroskop umfasst.

26. Inspektionssystem gemäß Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das reflektive Röntgenmikroskop ein reflektives Röntgenmikroskop gemäß einem der Ansprüche 1 bis 13 umfasst.

27. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 26, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens ein Teil des Inspektionssystems im Vakuum oder in einem Schutzgas angeordnet ist.

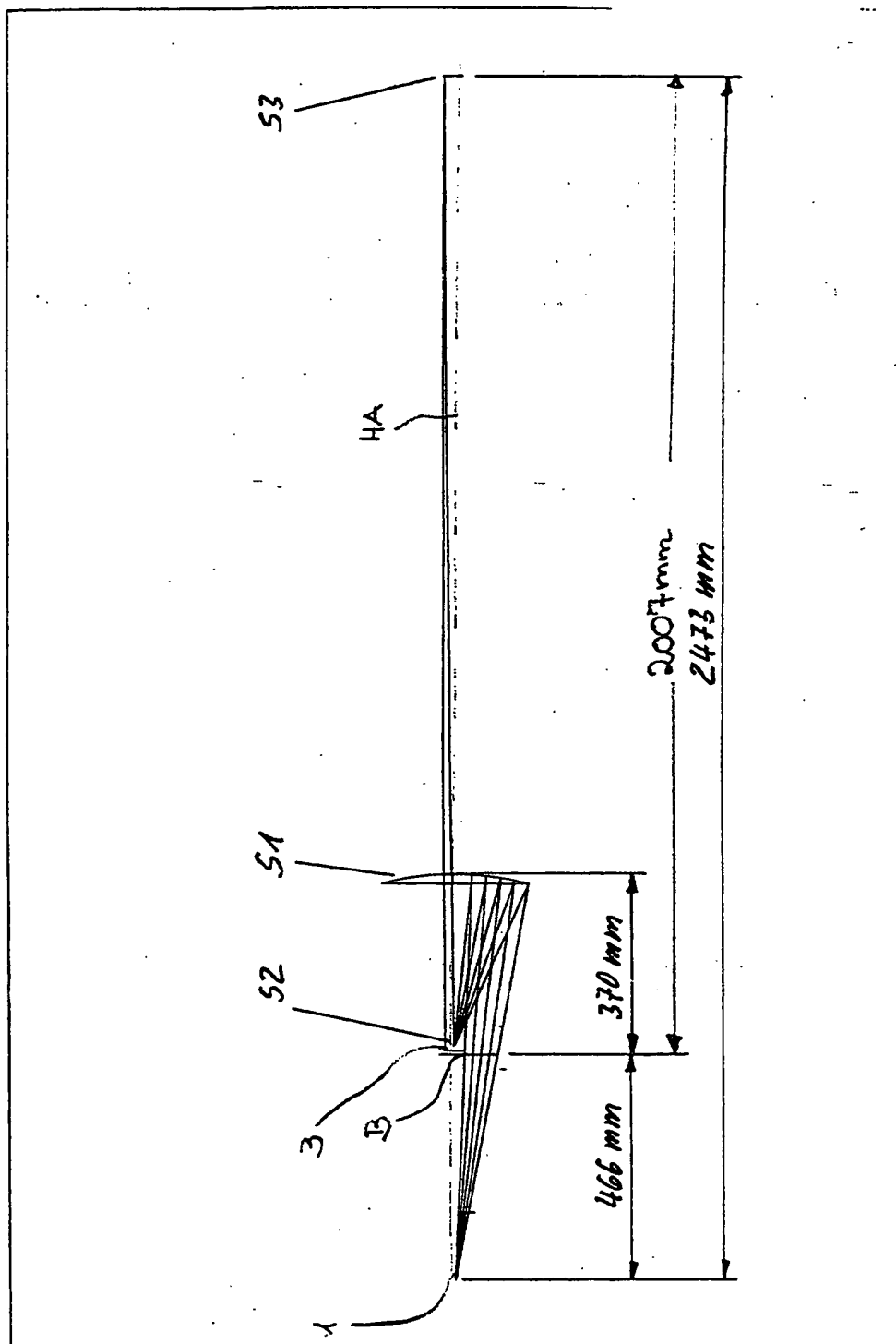
28. Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 14 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass das Inspektionssystem des weiteren ein zum Abbildungssystem für Wellenlängen  $\leq 100$  nm paralleles Hilfsbeobachtungssystem für Wellenlängen  $\geq 100$  nm zur Abbildung wenigstens eines Teiles des Objektes in eine weitere Bildebene umfasst. 5
29. Inspektionssystem gemäß Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass das Hilfsbeobachtungssystem parfokal und/oder parzentriert angeordnet ist. 10
30. Verfahren zur Inspektion von Objekten, insbesondere Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen 100 nm mit folgenden Schritten:
- 30.1 in der Objektebene wird mit einem Beleuchtungssystem ein Feld ausgeleuchtet; 15
  - 30.2 das zu untersuchende Objekt wird mit Positioniereinrichtungen in das ausgeleuchtete Feld verbracht;
  - 30.3 das zu untersuchende Objekt wird mit einem reflektiven Röntgenmikroskop für Wellenlängen 100 nm in eine Bildebene (3) abgebildet; 20
  - 30.4 die Bilder des Objektes in der Bildebene (3) werden von einem Bildaufnahmesystem aufgenommen.
31. Verfahren gemäß Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass die von dem Bildaufnahmesystem aufgenommenen Bilder mit einer Analyseeinheit auf charakteristische Größen des Objektes hin ausgewertet werden. 25
32. Verfahren gemäß Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass das Objekt mit einer Fokuseinstellvorrichtung senkrecht zur Objektebene (1) verfahren wird und Bilder an vorbestimmten Fokuspositionen ober- und unterhalb des Fokus aufgenommen werden. 30
33. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass die numerische Apertur mit der Aperturblende (B) und mit der Beleuchtungsaperturblende so eingestellt wird, dass sich eine mit der Projektionsbelichtungsanlage optisch äquivalente Apertur ergibt. 35 40
34. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 30 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren mit einem Inspektionssystem gemäß einem der Ansprüche 13 bis 24 durchgeführt wird.
35. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 14 bis 30 zur Defektanalyse von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm. 45
36. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 14 bis 30 zur Kontrolle von Reparaturen von Masken für die Mikrolithographie mit Wellenlängen  $\leq 100$  nm. 50
37. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 14 bis 30 zur Prozeßoptimierung für den Belichtungsprozeß in Projektionsbelichtungsanlagen. 55
38. Verwendung eines Inspektionssystems gemäß einem der Ansprüche 14 bis 30 zur Systemkonfiguration einer Projektionsbelichtungsanlage. 60

---

Hierzu 36 Seite(n) Zeichnungen

---

Fig. 1



## TABELLE 1A:

## LENS NOTES:

Notes...  
 S' = -500  
 konkav-konvex-konkav

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 7  
 Stop : 3  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = -0.000000E+000  
 Effective Focal Length : 234.2387 (in air)  
 Effective Focal Length : 234.2387 (in image space)  
 Back Focal Length : -112265.6  
 Total Track : 2333  
 Image Space F/# : 1.482005  
 Paraxial Working F/# : 1474.167  
 Working F/# : 1497.046  
 Image Space NA : 0.0003391746  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 79.02767  
 Paraxial Image Height : 19.03943  
 Paraxial Magnification : -500  
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553  
 Entrance Pupil Position : 325.5  
 Exit Pupil Diameter : 79.52777  
 Exit Pupil Position : 117421.5  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -1.987423

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	-0.005000	1.000000
2	0.000000	-0.012500	1.000000
3	0.000000	-0.020000	1.000000
4	0.000000	-0.027500	1.000000
5	0.000000	-0.035000	1.000000
6	0.015000	-0.005000	1.000000
7	0.015000	-0.020000	1.000000
8	0.015000	-0.035000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns.

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000



## TABELLE 1B:

## LENS NOTES:

Notes...  
 $s' = -500$   
 konkav-konvex-konkav

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKTENEHE-OE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	LENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-352.5	MIRROR	276.962	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	-3.5	1990	MIRROR	1.385541	0
6	EVENASPH	3.SPIEGEL	-4000	-2000	MIRROR	38.53955	0
IMA	STANDARD	BILDERENE-BE	Infinity			38.80791	0

## TABELLE 1C

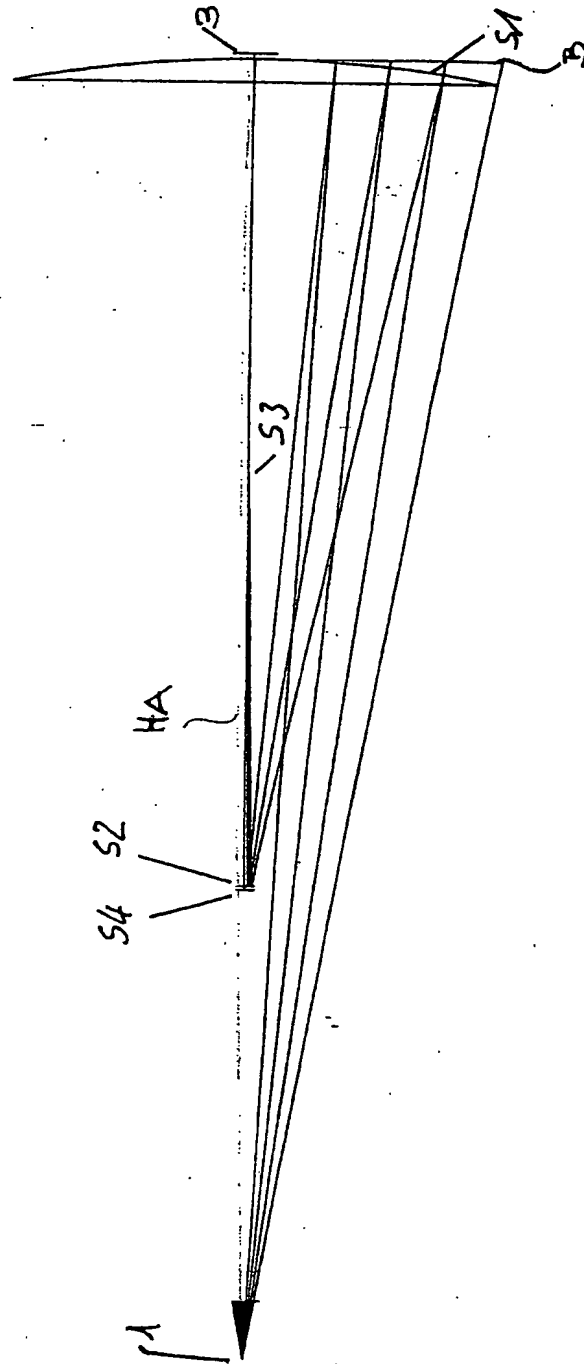
## LENS NOTES:

Notes...  
S' = -500  
konkav-konvex-konkav

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKTEBENE-OE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.015  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -0.02  
 Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64  
 Surface 2 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 30  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -48.98  
 Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE  
 Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -4.8307125e-006  
 Coeff on r 4 : 1.507674e-010  
 Coeff on r 6 : 5.954906e-016  
 Coeff on r 8 : 9.963594e-022  
 Coeff on r 10 : -6.0635175e-027  
 Coeff on r 12 : 9.0583726e-031  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -0.0029715707  
 Coeff on r 4 : 0.00095749309  
 Coeff on r 6 : 0.0054995085  
 Coeff on r 8 : -0.01948431  
 Coeff on r 10 : 0.047391254  
 Coeff on r 12 : -0.081392844  
 Coeff on r 14 : 0.083806863  
 Coeff on r 16 : -0.034839904  
 Surface 6 : EVENASPH  
 Comment : 3.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 1.6464231e-006  
 Coeff on r 4 : 5.7633466e-009  
 Coeff on r 6 : -1.317449e-011  
 Coeff on r 8 : 4.0280325e-014  
 Coeff on r 10 : -7.0734665e-017  
 Coeff on r 12 : 5.3017923e-020  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILDEBENE-BE

FIG. 2



## TABELLE 2A

## LENS NOTES:

Notes...

S'-354

konkav-konvex-konkav-konkav

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 7  
 Stop : 3  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : -15.36043 (in air)  
 Effective Focal Length : -15.36043 (in image space)  
 Back Focal Length : 3582.062  
 Total Track : 3013  
 Image Space F/# : 0.01442053  
 Paraxial Working F/# : 1043.713  
 Working F/# : 994.9058  
 Image Space NA : 0.0004790589  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 532.5889  
 Paraxial Image Height : 13.47995  
 Paraxial Magnification : 354.0009  
 Entrance Pupil Diameter : 1065.178  
 Entrance Pupil Position : 3000  
 Exit Pupil Diameter : 5.20994  
 Exit Pupil Position : -5445.013  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -204.4511

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

## TABELLE 2B

## LENS NOTES:

Notes...

S'-354

konkav-konvex-konkav-konkav

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD		Infinity	140.5		0.07613773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	3000		47.72672	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		1065.179	0
STO	EVERASPHER	BLENDE	-2500	-1997	MIRROR	1046.393	0
4	EVERASPHER		-166	1000	MIRROR	39.11943	0
5	EVERASPHER		-50	-1010	MIRROR	2.082316	0
6	EVERASPHER		2000	2020	MIRROR	40	0
IMA	STANDARD		Infinity			100	0

## TABELLE 2C

## LENS NOTES:

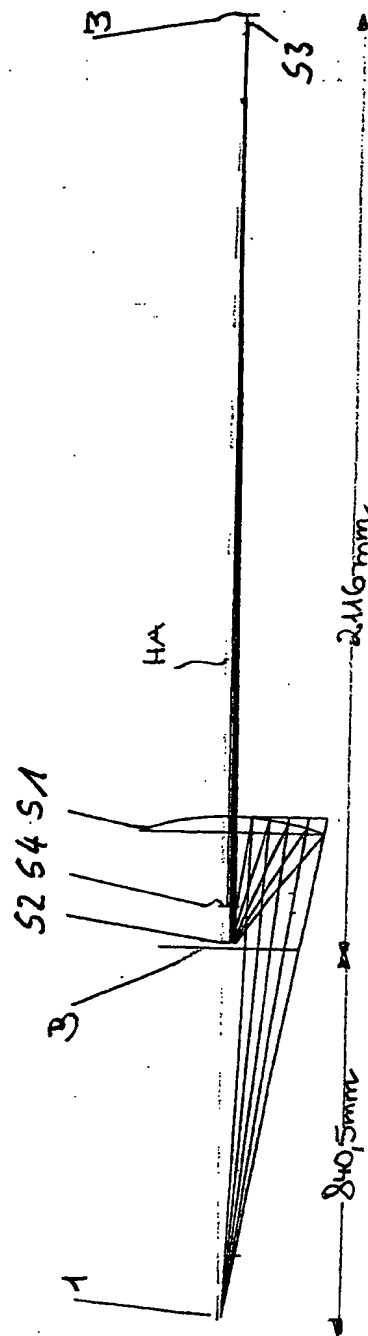
Notes...  
S'=354  
konkav-konvex-konkav-konkav

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
Aperture : Rectangular Aperture  
X Half Width : 0.015  
Y Half Width : 0.015  
X- Decenter : 0  
Y- Decenter : 0.02  
Surface 1 : STANDARD  
Comment : HILFSFLÄCHE  
Aperture : Rectangular Aperture  
X Half Width : 30  
Y Half Width : 15  
X- Decenter : 0  
Y- Decenter : -20.64  
Surface 2 : STANDARD  
Comment : HILFSFLÄCHE  
Aperture : Circular Aperture  
Minimum Radius : 0  
Maximum Radius : 198.75  
X- Decenter : 0  
Y- Decenter : -331.25  
Surface STO : EVENASPH  
Comment : BLENDE  
Coeff on r 2 : -1.7434327e-007  
Coeff on r 4 : 3.1374279e-013  
Coeff on r 6 : 5.3355533e-020  
Coeff on r 8 : -8.5318118e-028  
Coeff on r 10 : 2.8646746e-032  
Coeff on r 12 : -4.1365345e-039  
Coeff on r 14 : 0  
Coeff on r 16 : 0  
Surface 4 : EVENASPH  
Coeff on r 2 : 3.3019781e-006  
Coeff on r 4 : 3.6808025e-008  
Coeff on r 6 : 1.7049583e-012  
Coeff on r 8 : -2.0350022e-015  
Coeff on r 10 : 5.2988305e-018  
Coeff on r 12 : -1.4240788e-021  
Coeff on r 14 : 0  
Coeff on r 16 : 0  
Surface 5 : EVENASPH  
Coeff on r 2 : 0.0031086973  
Coeff on r 4 : 6.1575983e-005  
Coeff on r 6 : -0.0012869219  
Coeff on r 8 : 0.0073299418  
Coeff on r 10 : -0.020602843  
Coeff on r 12 : 0.024688225  
Coeff on r 14 : -0.0012519234  
Coeff on r 16 : -0.014071763  
Aperture : Floating Aperture  
Maximum Radius : 1.041158  
Surface 6 : EVENASPH  
Coeff on r 2 : -6.5912756e-005  
Coeff on r 4 : -1.5574759e-008  
Coeff on r 6 : -4.7738429e-010  
Coeff on r 8 : 7.5143917e-012  
Coeff on r 10 : -6.5517905e-014  
Coeff on r 12 : 2.2254561e-016  
Coeff on r 14 : 0  
Coeff on r 16 : 0  
Aperture : Floating Aperture  
Maximum Radius : 20  
Surface IMA : STANDARD

## COATING DEFINITIONS:

FIG. 3



## TABELLE 3A

## LENS NOTES:

Notes...  
 $S' = 530$   
 konkav - konvex - konkav - konkav

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8  
 Stop : 2  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.000000E+000-  
 Effective Focal Length : -80.6423 (in air)  
 Effective Focal Length : -80.6423 (in image space)  
 Back Focal Length : -35555.39  
 Total Track : 2815.61  
 Image Space F/# : 0.2828798  
 Paraxial Working F/# : 1562.617  
 Working F/# : 1576.998  
 Image Space NA : 0.000319976  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 142.5381  
 Paraxial Image Height : 20.1818  
 Paraxial Magnification : 530  
 Entrance Pupil Diameter : 285.0762  
 Entrance Pupil Position : 700  
 Exit Pupil Diameter : 27.35677  
 Exit Pupil Position : -42950.12  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -10.42068

Fields : 8  
 Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1  
 Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000



## TABELLE 3B

## LENS NOTES:

Notes...

S' = 530

konkav - konvex - konkav - konkav

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	700		47.71745	0
STO	STANDARD	BLLENDE	Infinity	300		285.0762	0
3	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		386.8558	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-285.69	MIRROR	374.3561	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	-50	2081.3	MIRROR	30.41275	0
6	STANDARD	3.SPIEGEL-SPHÄR.	-166	-2000	MIRROR	3.0007	0
7	EVENASPH	4.SPIEGEL	4000	2020	MIRROR	39.28856	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			40.26898	0

# TABELLE 3C

## LENS NOTES:

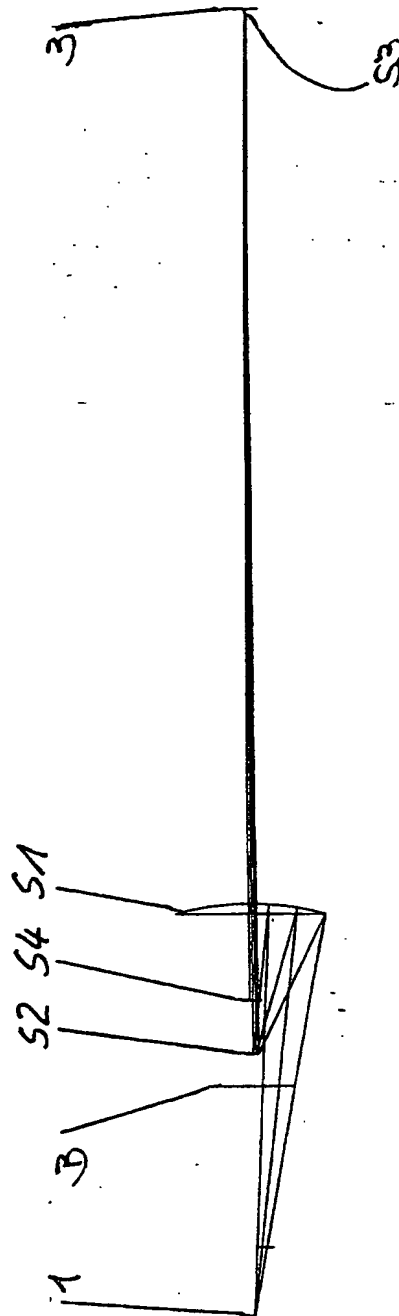
Notes...  
 s' = 530  
 konkav - konvex - konkav - konkav

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKT-EBENE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.015  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : 0.03  
 Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64  
 Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE  
 Surface 3 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 73  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -119.87  
 Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -2.4617005e-005  
 Coeff on r 4 : 2.611535e-010  
 Coeff on r 6 : 1.5508187e-015  
 Coeff on r 8 : -1.1008112e-020  
 Coeff on r 10 : 4.8365227e-026  
 Coeff on r 12 : 1.7895774e-030  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 7.36621e-006  
 Coeff on r 4 : 6.6871564e-007  
 Coeff on r 6 : 2.6494143e-009  
 Coeff on r 8 : -1.063463e-011  
 Coeff on r 10 : 1.4770529e-014  
 Coeff on r 12 : 5.4578804e-018  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 6 : STANDARD  
 Comment : 3.SPIEGEL-SPHÄR.  
 Surface 7 : EVENASPH  
 Comment : 4.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -4.6390308e-007  
 Coeff on r 4 : 2.9425212e-009  
 Coeff on r 6 : -8.911427e-012  
 Coeff on r 8 : 1.9486952e-014  
 Coeff on r 10 : -3.024605e-017  
 Coeff on r 12 : 2.3357399e-020  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:

FIG. 4



## TABELLE 4A

## LENS NOTES:

Notes...  $S'=500$   
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8  
 Stop : 3  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : -70.30086 (in air)  
 Effective Focal Length : -70.30086 (in image space)  
 Back Focal Length : -28049.43  
 Total Track : 2508.5  
 Image Space F/# : 0.4447864  
 Paraxial Working F/# : 1474.167  
 Working F/# : 1495.231  
 Image Space NA : 0.0003391745  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 79.02767  
 Paraxial Image Height : 19.03943  
 Paraxial Magnification : 500  
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553  
 Entrance Pupil Position : 325.5  
 Exit Pupil Diameter : 23.85146  
 Exit Pupil Position : -35178.54  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -6.626653

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

## TABELLE 4B

## LENS NOTES:

Notes...  $\lambda = 500$   
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	LENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1. SPIEGEL	-500	-305	MIRROR	276.6939	0
5	EVENASPH	2. SPIEGEL	-100	2108	MIRROR	24.81398	0
6	STANDARD	3. SPIEGEL-SPHÄR.	-216	-2000	MIRROR	3.494166	0
7	STANDARD	4. SPIEGEL-SPHÄR.	4000	2010	MIRROR	37.08851	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			37.94685	0

## TABELLE 4C

## LENS NOTES:

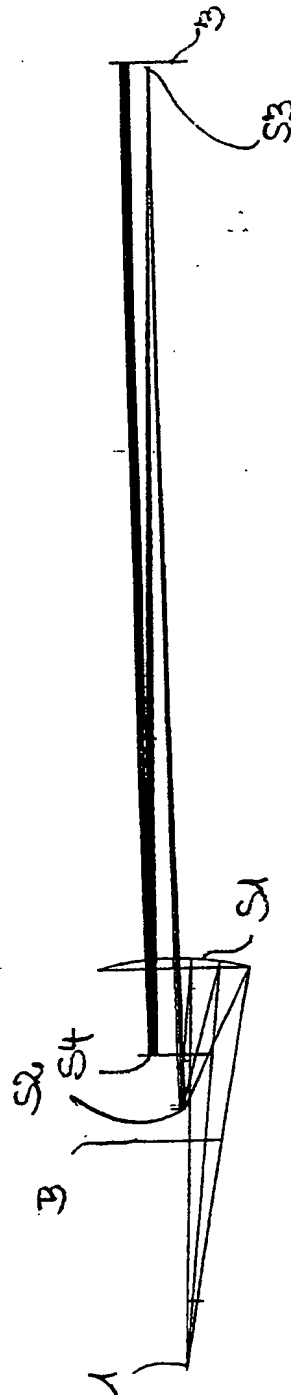
Notes... 8"-500  
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKT-EBENE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.015  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : +0.02  
 Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64  
 Surface 2 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 30  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -48.98  
 Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE  
 Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -4.6103352e-005  
 Coeff on r 4 : 4.5797537e-011  
 Coeff on r 6 : 1.086501e-015  
 Coeff on r 8 : -3.224814e-020  
 Coeff on r 10 : 1.7635536e-026  
 Coeff on r 12 : 1.8446481e-029  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -0.0033081204  
 Coeff on r 4 : -1.5505972e-007  
 Coeff on r 6 : 1.713275e-009  
 Coeff on r 8 : -1.0034183e-011  
 Coeff on r 10 : 1.1489741e-014  
 Coeff on r 12 : 4.6187442e-017  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 6 : STANDARD  
 Comment : 3.SPIEGEL-SPHÄR.  
 Surface 7 : STANDARD  
 Comment : 4.SPIEGEL-SPHÄR.  
 Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:

Fig. 5



## TABELLE 5C

## LENS NOTES:

Notes...  $\lambda = 500$   
 konkav-konvex-konkav-konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch  
 Objektfeld:  $2x=200\mu\text{m}$ ,  $y=5\mu\text{m}-100\mu\text{m}$  mit Wellenfrontfehler  $<20\text{m}\lambda$

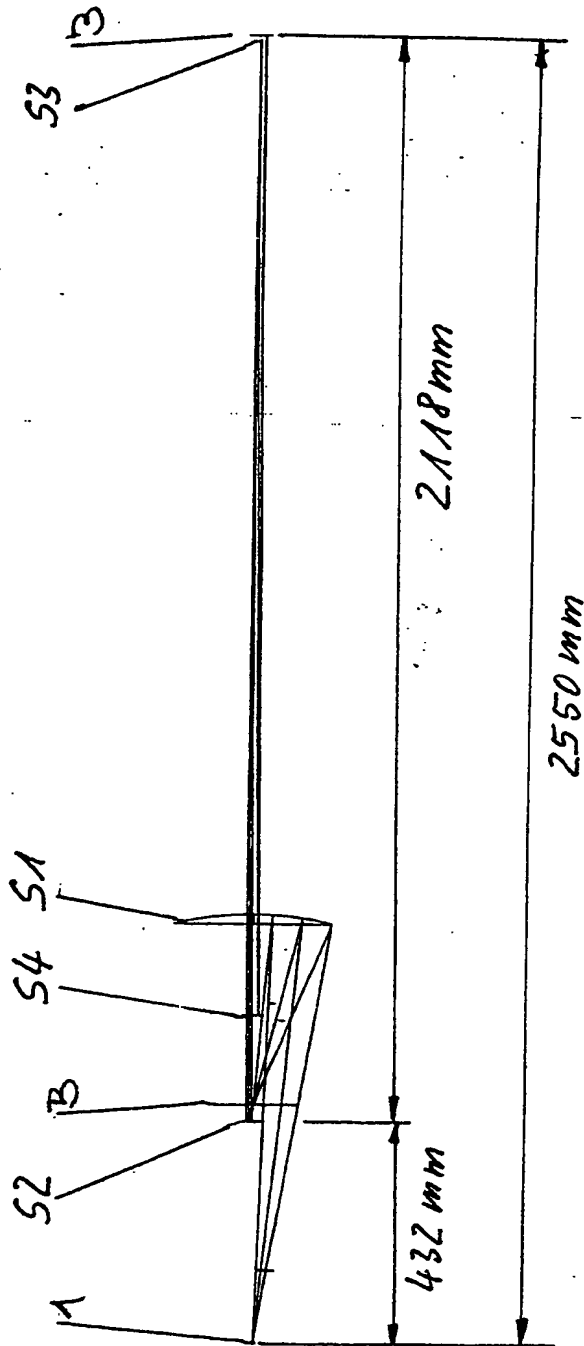
## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKT-EBENE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.1  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : 0.085  
 Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64  
 Surface 2 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 30  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -48.98  
 Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE  
 Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -4.6094988e-005  
 Coeff on r 4 : 5.1127578e-011  
 Coeff on r 6 : 4.8723006e-016  
 Coeff on r 8 : -1.0557709e-020  
 Coeff on r 10 : 5.2110287e-026  
 Coeff on r 12 : 7.3206667e-030  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : -0.0033070554  
 Coeff on r 4 : -6.8871027e-008  
 Coeff on r 6 : 4.3841886e-010  
 Coeff on r 8 : -3.4827214e-012  
 Coeff on r 10 : 6.0031516e-015  
 Coeff on r 12 : 1.6086521e-017  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 6 : STANDARD  
 Comment : 3.SPIEGEL-SPHÄR.  
 Surface 7 : STANDARD  
 Comment : 4.SPIEGEL-SPHÄR.  
 Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:



FIG. 6



## TABELLE 6A

## LENS NOTES:

Notes... s' = -500  
 Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 8  
 Stop : 3  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : 37.39941 (in air)  
 Effective Focal Length : 37.39941 (in image space)  
 Back Focal Length : -11587.69  
 Total Track : 2409.22  
 Image Space F/# : 0.2366223  
 Paraxial Working F/# : 1474.167  
 Working F/# : 1492.687  
 Image Space NA : 0.0003391745  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 79.02767  
 Paraxial Image Height : 19.03943  
 Paraxial Magnification : -500  
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553  
 Entrance Pupil Position : 325.5  
 Exit Pupil Diameter : 12.68697  
 Exit Pupil Position : -18608.47  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : 12.45809

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	V CX	V CY	V AN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

## TABELLE 6B

## LENS NOTES:

Notes...  $B' = -500$ 

Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
3	STANDARD	BLLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-404.28	MIRROR	277.1741	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	100	2108	MIRROR	24.79504	0
6	STANDARD	3.SPIEGEL-SPHÄR.	-216	-1900	MIRROR	3.507399	0
7	STANDARD	4.SPIEGEL-SPHÄR.	4000	1910	MIRROR	35.32319	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			37.93232	0

## TABELLE GC

## LENS NOTES:

Notes...  $\lambda' = -500$   
 Alle Spiegel konkav, Spiegel 3 und 4 sphärisch

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKT-EBENE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.015  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : 0.02

Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64

Surface 2 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 30  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -48.98

Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE

Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1. SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 2.7769148e-005  
 Coeff on r 4 : 2.2488572e-010  
 Coeff on r 6 : 1.1599273e-015  
 Coeff on r 8 : -2.9110643e-020  
 Coeff on r 10 : 1.1856427e-024  
 Coeff on r 12 : -1.6412839e-029  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0

Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2. SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 0.0027208747  
 Coeff on r 4 : 3.1374819e-008  
 Coeff on r 6 : 7.8315561e-010  
 Coeff on r 8 : -8.0650957e-012  
 Coeff on r 10 : 3.8132831e-014  
 Coeff on r 12 : -6.7855098e-017  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0

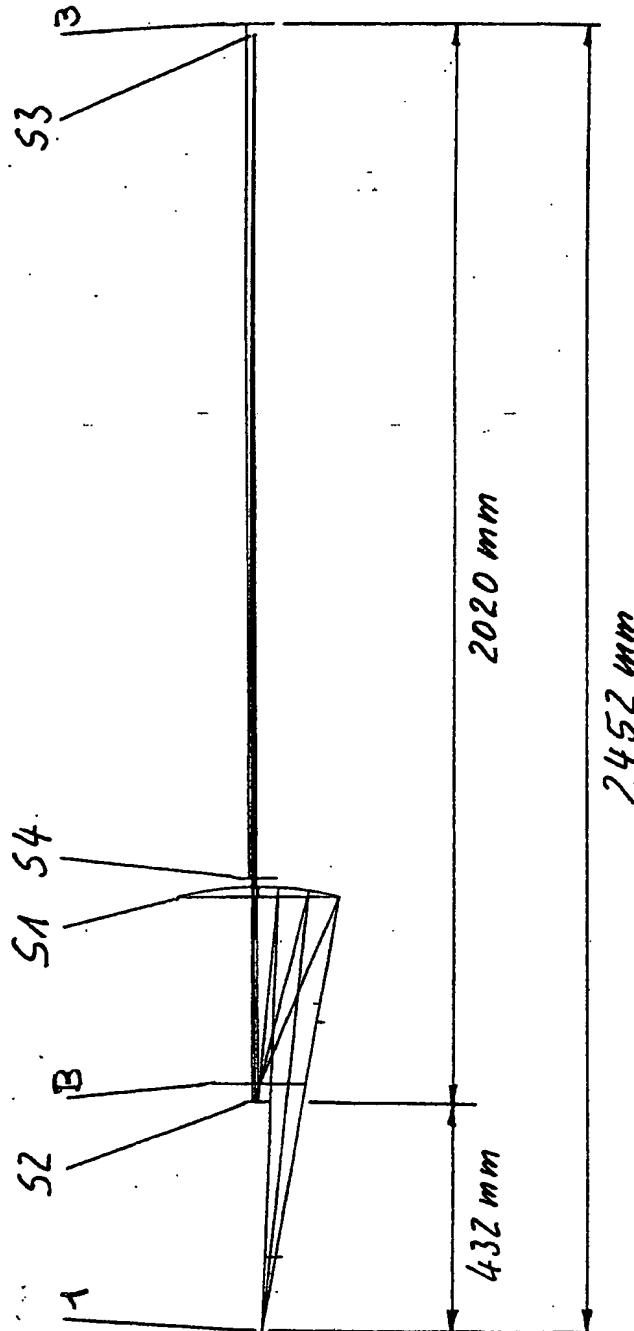
Surface 6 : STANDARD  
 Comment : 3. SPIEGEL-SPHÄR.

Surface 7 : STANDARD  
 Comment : 4. SPIEGEL-SPHÄR.

Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:

Fig. 7  
A6F



## TABELLE 7A

## LENS NOTES:

Notes... B' = 500  
konkav-konkav-konvex-konkav

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 0  
Stop : 3  
System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
Glass Catalogs : schott  
Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
X Pupil shift : 0  
Y Pupil shift : 0  
Z Pupil shift : 0  
Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
Effective Focal Length : -196.9264 (in air)  
Effective Focal Length : -196.9264 (in image space)  
Back Focal Length : -91931.51  
Total Track : 2311.22  
Image Space F/# : 1.245933  
Paraxial Working F/# : 1474.167  
Working F/# : 1489.404  
Image Space NA : 0.0003391746  
Object Space NA : 0.1672  
Stop Radius : 79.02767  
Paraxial Image Height : 30.92329  
Paraxial Magnification : 500  
Entrance Pupil Diameter : 158.0553  
Entrance Pupil Position : 325.5  
Exit Pupil Diameter : 66.84893  
Exit Pupil Position : -98294.58  
Field Type : Object height in Millimeters  
Maximum Field : 0.06184658  
Primary Wave : 0.0135  
Lens Units : Millimeters  
Angular Magnification : -2.364366

## Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.030000	1.000000
2	0.000000	0.037500	1.000000
3	0.000000	0.045000	1.000000
4	0.000000	0.052500	1.000000
5	0.000000	0.060000	1.000000
6	0.015000	0.030000	1.000000
7	0.015000	0.045000	1.000000
8	0.015000	0.060000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.800000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

## Wavelengths : 1

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

## TABELLE 7B

## LENS NOTES:

 Notes...  $B' = 500$   
 konkav-konkav-konvex-konkav

## SURFACE DATA SUMMARY:

S.	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.1236932	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.74043	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	BLENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-404.28	MIRROR	277.2035	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	100	2000	MIRROR	25.1518	0
6	STANDARD	3.SPIEGEL-SPHÄR.	190	-1580	MIRROR	4.422261	0
7	STANDARD	4.SPIEGEL-SPHÄR.	3400	1600	MIRROR	61.67181	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			61.75582	0

## TABELLE 7C

## LENS NOTES:

Notes... s' = 500  
 konkav-konkav-konvex-konkav

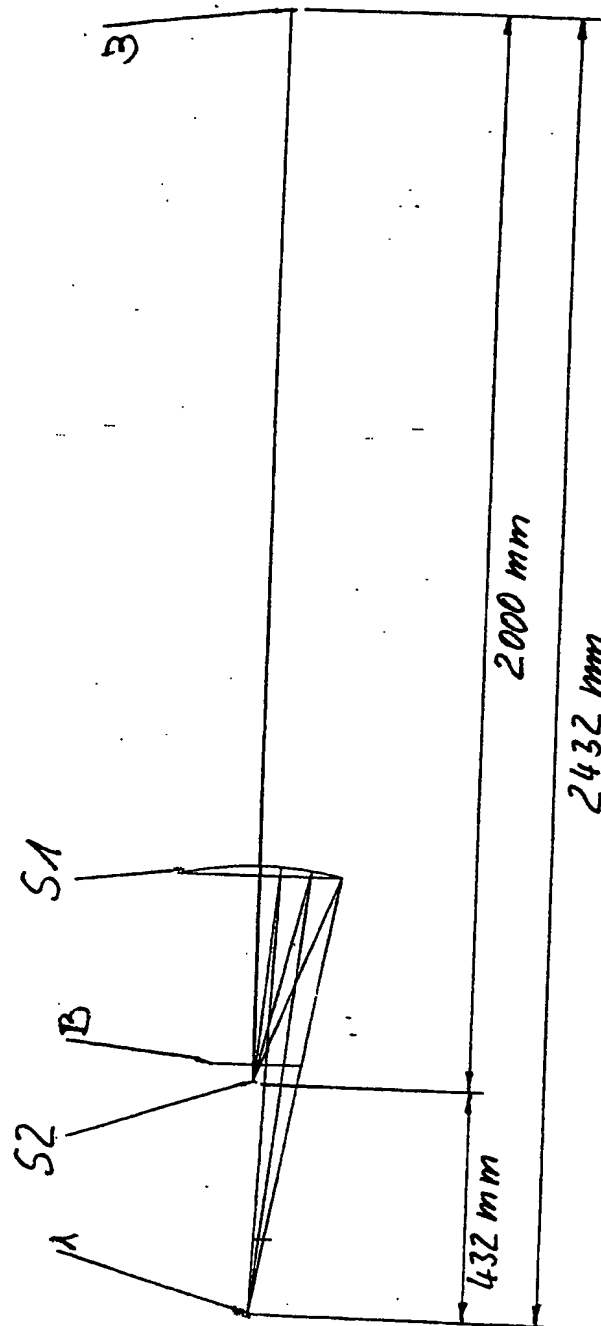
## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ	:	STANDARD
Comment	:	OBJEKT-EBENE
Aperture	:	Rectangular Aperture
X Half Width	:	0.015
Y Half Width	:	0.015
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	0.045
Surface 1	:	STANDARD
Comment	:	HILFSFLÄCHE
Aperture	:	Rectangular Aperture
X Half Width	:	30
Y Half Width	:	15
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	-20.64
Surface 2	:	STANDARD
Comment	:	HILFSFLÄCHE
Aperture	:	Circular Aperture
Minimum Radius	:	0
Maximum Radius	:	30
X- Decenter	:	0
Y- Decenter	:	-48.98
Surface STO	:	STANDARD
Comment	:	ELENDE
Surface 4	:	EVENASPH
Comment	:	1.SPIEGEL
Coeff on r 2	:	2.70268e-005
Coeff on r 4	:	2.2512635e-010
Coeff on r 6	:	8.2044497e-016
Coeff on r 8	:	-7.579954e-022
Coeff on r 10	:	1.102694e-025
Coeff on r 12	:	-1.2494723e-030
Coeff on r 14	:	0
Coeff on r 16	:	0
Surface 5	:	EVENASPH
Comment	:	2.SPIEGEL
Coeff on r 2	:	0.0026219304
Coeff on r 4	:	4.9915565e-008
Coeff on r 6	:	5.9995692e-011
Coeff on r 8	:	-3.0213474e-013
Coeff on r 10	:	4.3389295e-016
Coeff on r 12	:	6.1610188e-019
Coeff on r 14	:	0
Coeff on r 16	:	0
Surface 6	:	STANDARD
Comment	:	3.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface 7	:	STANDARD
Comment	:	4.SPIEGEL-SPHÄR.
Surface IMA	:	STANDARD
Comment	:	BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:



Fig. 8



# TABELLE 8A

## LENS NOTES:

Notes...  $S' = 100$   
 konkav-konkav

## GENERAL LENS DATA:

Surfaces : 6.  
 Stop : 3  
 System Aperture : Object Space NA = 0.1672  
 Glass Catalogs : schott  
 Ray Aiming : Real Reference, Cache On  
 X Pupil shift : 0  
 Y Pupil shift : 0  
 Z Pupil shift : 0  
 Apodization : Uniform, factor = 0.00000E+000  
 Effective Focal Length : -20.15204 (in air)  
 Effective Focal Length : -20.15204 (in image space)  
 Back Focal Length : 1109.829  
 Total Track : 2291.4  
 Image Space F/# : 0.1274999  
 Paraxial Working F/# : 294.833  
 Working F/# : 296.6462  
 Image Space NA : 0.001695873  
 Object Space NA : 0.1672  
 Stop Radius : 79.02767  
 Paraxial Image Height : 3.807881  
 Paraxial Magnification : 99.99986  
 Entrance Pupil Diameter : 158.0553  
 Entrance Pupil Position : 325.5  
 Exit Pupil Diameter : 6.838018  
 Exit Pupil Position : -1990.643  
 Field Type : Object height in Millimeters  
 Maximum Field : 0.03807887  
 Primary Wave : 0.0135  
 Lens Units : Millimeters  
 Angular Magnification : -23.11421

Fields : 8

Field Type: Object height in Millimeters

#	X-Value	Y-Value	Weight
1	0.000000	0.005000	1.000000
2	0.000000	0.012500	1.000000
3	0.000000	0.020000	1.000000
4	0.000000	0.027500	1.000000
5	0.000000	0.035000	1.000000
6	0.015000	0.005000	1.000000
7	0.015000	0.020000	1.000000
8	0.015000	0.035000	1.000000

## Vignetting Factors

#	VDX	VDY	VCX	VCY	VAN
1	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
2	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
3	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
4	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
5	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
6	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
7	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
8	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000

Wavelengths : 1

Units: Microns

#	Value	Weight
1	0.013500	1.000000

## TABELLE 80

## LENS NOTES:

Notes...  $\delta' = 100$   
konkav-konkav

## SURFACE DATA SUMMARY:

Surf	Type	Comment	Radius	Thickness	Glass	Diameter	Conic
OBJ	STANDARD	OBJEKT-EBENE	Infinity	140.5		0.07615773	0
1	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	325.5		47.70722	0
2	STANDARD	HILFSFLÄCHE	Infinity	0		158.0553	0
STO	STANDARD	LENDE	Infinity	370		158.0553	0
4	EVENASPH	1.SPIEGEL	-500	-404.1	MIRROR	277.4292	0
5	EVENASPH	2.SPIEGEL	100	2000	MIRROR	6.815651	0
IMA	STANDARD	BILD-EBENE	Infinity			7.497326	0

## TABELLE 8Q:

## LENS NOTES:

 Notes...  $B' = 100$   
 konkav-konkav

## SURFACE DATA DETAIL:

Surface OBJ : STANDARD  
 Comment : OBJEKT-EBENE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 0.015  
 Y Half Width : 0.015  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : 0.02  
 Surface 1 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Rectangular Aperture  
 X Half Width : 30  
 Y Half Width : 15  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -20.64  
 Surface 2 : STANDARD  
 Comment : HILFSFLÄCHE  
 Aperture : Circular Aperture  
 Minimum Radius : 0  
 Maximum Radius : 30  
 X- Decenter : 0  
 Y- Decenter : -48.98  
 Surface STO : STANDARD  
 Comment : BLENDE  
 Surface 4 : EVENASPH  
 Comment : 1.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 6.7309527e-005  
 Coeff on r 4 : 2.9082276e-010  
 Coeff on r 6 : 1.7291515e-015  
 Coeff on r 8 : -6.2302432e-020  
 Coeff on r 10 : 2.641037e-024  
 Coeff on r 12 : -4.1156155e-029  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface 5 : EVENASPH  
 Comment : 2.SPIEGEL  
 Coeff on r 2 : 0.021277299  
 Coeff on r 4 : -5.2803667e-006  
 Coeff on r 6 : 3.6441844e-006  
 Coeff on r 8 : -5.0797445e-007  
 Coeff on r 10 : 3.4653654e-008  
 Coeff on r 12 : -9.175105e-010  
 Coeff on r 14 : 0  
 Coeff on r 16 : 0  
 Surface IMA : STANDARD  
 Comment : BILD-EBENE

## COATING DEFINITIONS:

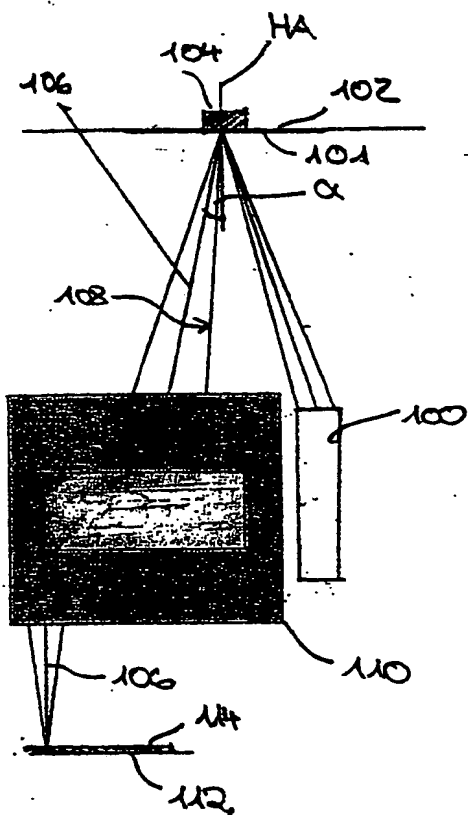
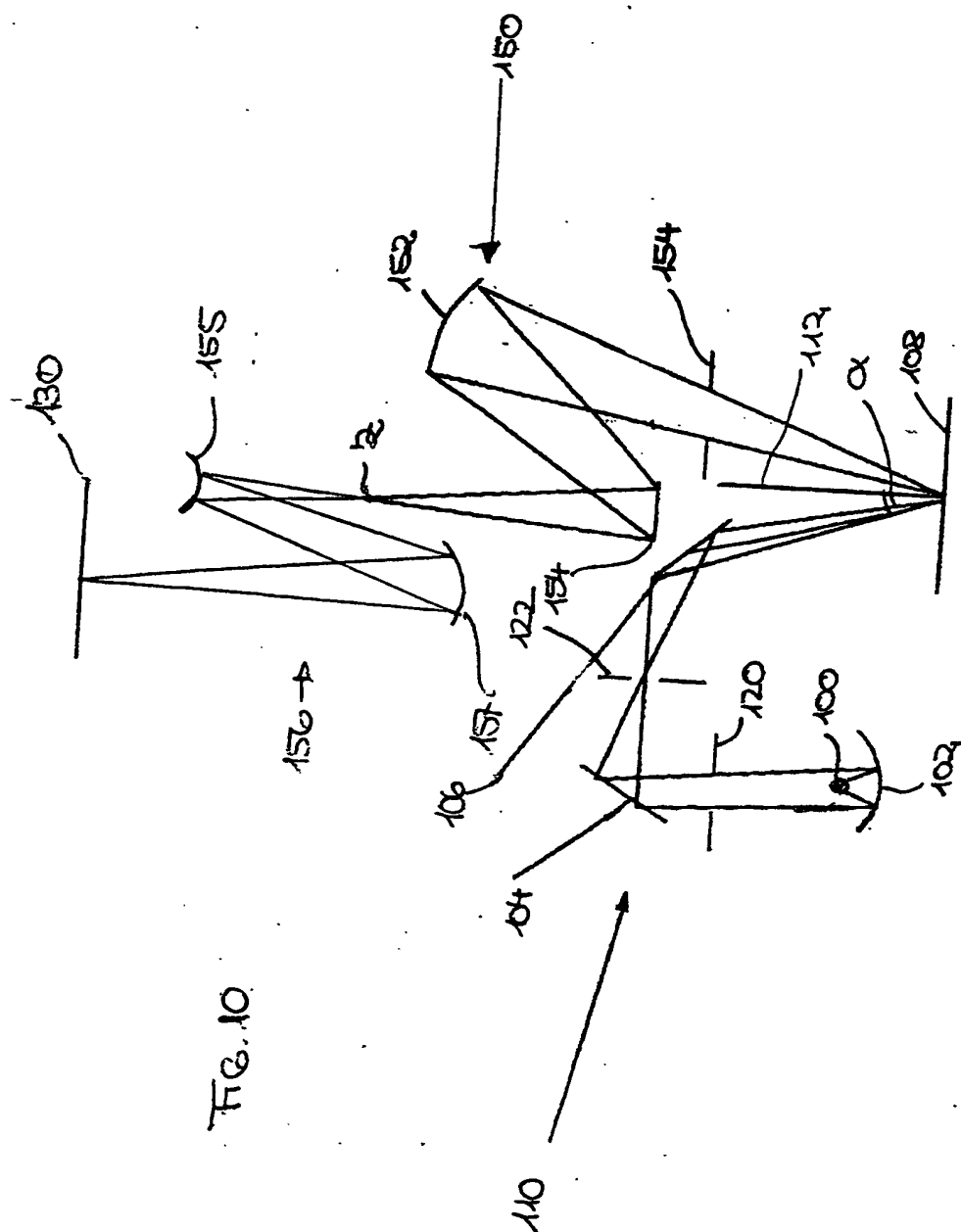
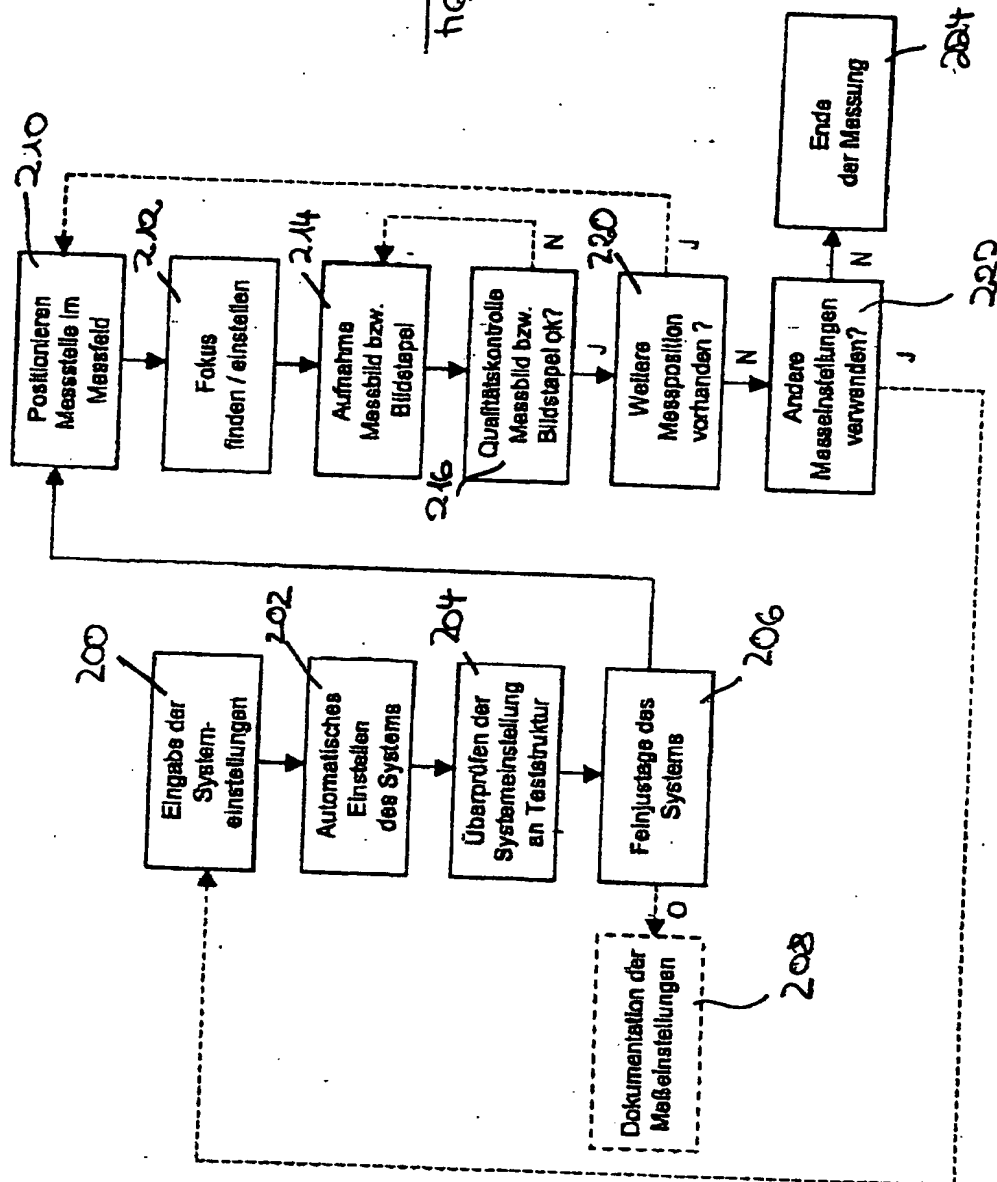
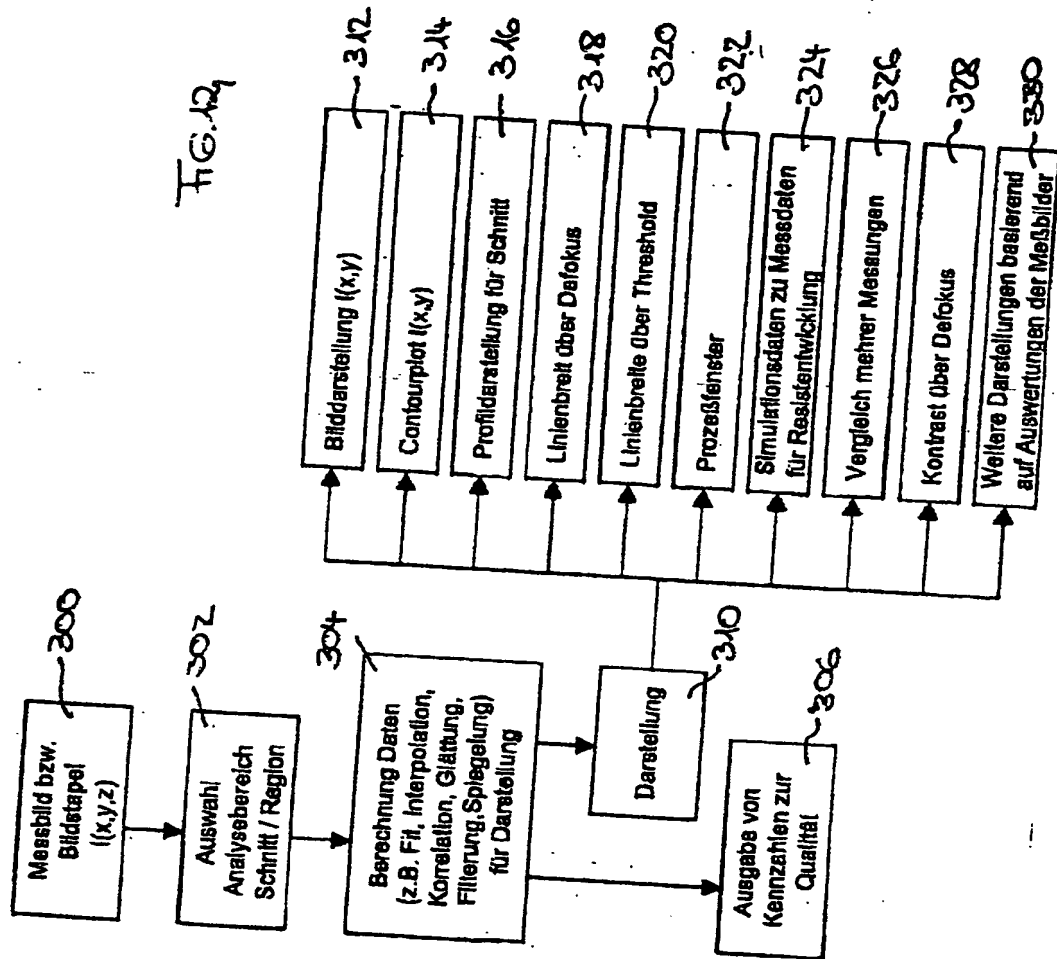


Fig. 9









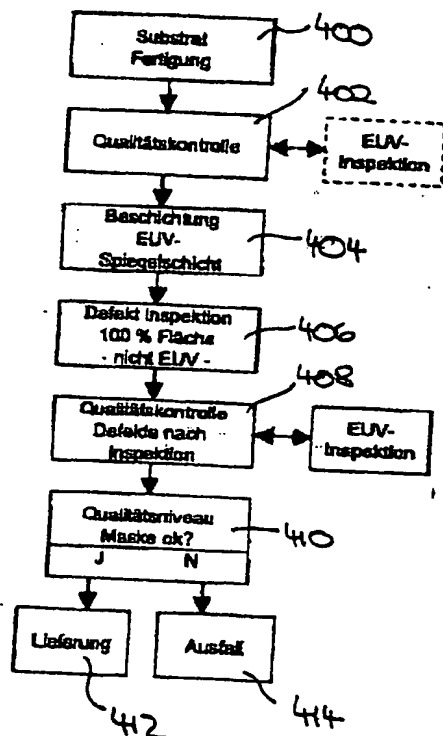


Fig. 13a

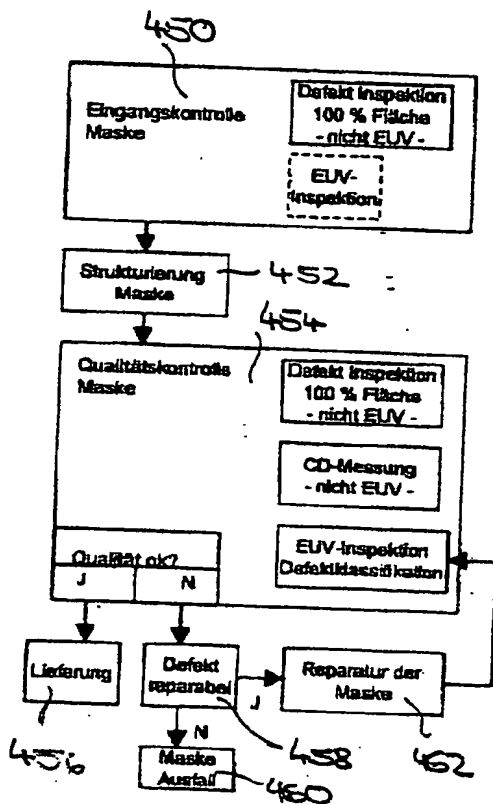


Fig. 13b

Fig. 13c

